UNIWERSYTET RZESZOWSKI
KOLEGIUM NAUK MEDYCZNYCH
INSTYTUT NAUK O KULTURZE FIZYCZNEJ

Jacek Kaczmarski

Uwarunkowania biokinematyczne i nerwowo-mięśniowe kopnięcia mae-geri na różnych etapach szkolenia w karate kyokushin

Promotor
Prof. dr hab. Zbigniew Borysiuk

Promotor pomocniczy
dr hab. Monika Błaszczyszyn

Rozprawa na stopień doktora w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauki o kulturze fizycznej.
Praca wykonana na Politechnice Opolskiej,
Wydział Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii.

Rzeszów 2024

Składam serdeczne podziękowania

Pracownikom Katedry Antropomotoryki i Biomechaniki
za udostępnienie aparatury badawczej oraz opiekę merytoryczną
w trakcie realizacji pracy doktorskiej.

SPIS TREŚCI

Wykaz skrótów 5

I. Wstęp 6

1. Geneza podjęcia tematu 6
2. Znaczenie wzorców ruchowych w sportach walki 9
3. Charakterystyka karate jako dyscypliny sportowej 10
4. Analiza podstawowych technik w karate ze szczególnym uwzględnieniem kopnięcia mae-geri 11
5. Specyfika wysiłkowa karate kyokushin. Znaczenie rozgrzewki 16
6. Ocena wskaźników ruchu z użyciem elektromiografii powierzchniowej (sEMG) i systemu motion capture opartego o czujniki inercyjne (IMU) 19
7. Paradygmat nowicjusze-eksperci jako metodologiczna przesłanka procesu badawczego w sporcie 22

II. Cele 24

1. Cel główny 24
2. Cele szczegółowe 24
3. Pytania badawcze 24

III. Materiał i metody 25

1. Charakterystyka grupy badanej 25
2. Narzędzia badawcze 26
   - 2.1. Elektromiografia powierzchniowa – sEMG 26
   - 2.2. System czujników inercyjnych – IMU 28
   - 2.3. Aparat do analizy składu ciała – Seca 30
3. Protokół badawczy 30
4. Analizowane zmiennne 33
5. Analiza sygnału EMG 34
6. Analiza sygnału IMU 34
7. Analiza statystyczna 35

IV. Prezentacja wyników 36

1. Ocena czasu ruchu i wartości kątowych kopnięcia mae-geri w powietrze 36
2. Ocena czasu ruchu i wartości kątowych kopnięcia mae-geri w tarczę 40
3. Wartości % MVC wybranych mięśni kopnięcia mae-geri w powietrze u grupy zaawansowanej i średniozaawansowanej 44
4. Wartości % MVC wybranych mięśni kopnięcia mae-geri w tarczę u grupy zaawansowanej i średniozaawansowanej 47
5. Przedstawienie istotnych statystycznie wartości kątowych oraz %MVC w obrębie danej grupy podczas kopnięcia w powietrze 49

V. Dyskusja 53

VI. Podsumowanie 62

1. Znaczenie czasu reakcji (RT) w sportach walki na przykładzie kopnięcia mae-geri..... 62
2. Zmiany napięcia mięśni (EMG) w zależności od rodzaju rozgrzewki 62
3. Biokinematyczne wskaźniki jako atrybuty skuteczności kopnięcia w tarczę 63
VII. Wnioski 64
VIII. Streszczenie 66
IX. Abstract 69
Piśmiennictwo 72
Spis tabel 81
Spis rycin 82

WYKAZ SKRÓTÓW

EMG	– elektromiografia (*elektromyography* – angielski) sEMG – elektromiografia powierzchniowa (*surface elektromyography* – angielski)
RT	– czas reakcji (*reaction time* – angielski)
MT	– czas ruchu (*movement time* – angielski)
MMA	– mieszane sztuki walki (*mixed martial arts* – angielski)
VO2 max	– pułap tlenowy (*maximum oxygen uptake* – angielski)
HR	– ilość uderzeń serca w ciągu minuty (*heart rate* – angielski)
HR max	– maksymalna ilość uderzeń serca w ciągu minuty (*maximal heart rate* – angielski)
ROM	– zakres ruchu (*range of motion* – angielski)
IMU	– czujniki inercyjne (*inertial measurement unit* – angielski)
MVC	– maksymalny dowolny skurcz (*maximal voluntary contraction* – angielski)
%MVC	– procent maksymalnego dowolnego skurczu (*percentage of maximal voluntary contraction* – angielski)
BMI	– wskaźnik masy ciała (*body mass index* – angielski)
DTS	– system bezpośredniej transmisji (*direct transmission system* – angielski)
RMS	– średnia kwadratowa (*root mean square* – angielski)
mBCA	– analizator składu ciała (*medical body composition analyzer* – angielski)
ANOVA	– analiza wariancji (*analysis of variance* – angielski)

I. Wstęp

1. Geneza podjęcia tematu

Kluczowy zamysł i koncepcja pracy wychodzi naprzeciw współczesnym tendencjom w teorii sportu, antropomotoryce oraz obszarze fizjoprofilaktyki, poszukiwań najlepszych wzorców ruchowych, zapewniających nauczanie i doskonalenie techniki sportowej w większości dyscyplin sportowych. Postęp w tej dziedzinie następuje w wyniku stosowania nowych technologii, umożliwiających telemetryczną rejestrację napięcia mięśni, timingu aktywacji badanych jednostek motorycznych oraz wszechstronnej oceny kinematyki poszczególnych faz ruchu z perspektywy biomechanicznej. Zwykle wnioski z przedstawionego podejścia naukowo-badawczego posiadają walory poznawcze, aplikacyjne oraz mogą być wykorzystane w rehabilitacji po przebytych urazach i kontuzjach w sporcie (Borysiuk i wsp. 2018, 2020; Szczęsna i wsp. 2020).

Należy podkreślić, iż analizując struktury ruchowe, zarówno wśród sportowców jak i osób preferujących sedenteryjny tryb życia, opieramy się o uznane teorie na polu nauczania i sterowania ruchami. Główne założenia i podstawy sformułował Richard Schmidt w dziele „Motor Control and Learning". Podkreśla w nim, że wszystkie czynności ruchowe posiadają kontekst neurofizjologiczny i nerwowo-psychiczny. Oznacza to, iż każdy nabyty nawyk ruchowy czy wyuczona technika sportowa kodowana jest w formie engramów w polach ruchowych kory mózgowej jako programy motoryczne. W tym sensie doskonalenie wzorców ruchowych zależy od sprawności obwodowego systemu nerwowego, ale również od poziomu centralnego, skuteczności przetwarzania informacji w powiązaniu z percepcją i procesami pamięci ruchowej. Dla celów badawczych jak również poglądowych, interpretując biosygnały płynące z rejestracji sygnału EMG, traktujemy je jako swoistą emanację procesów nerwowych. Kładziemy przy tym nacisk na określoną strukturę aktywacji mięśniowej, która zależy także od czasu nabywania nowych wzorców i poziomu sportowego badanych (Schmidt 1988; Czyż 2021).

Należy podkreślić, że w różnych dyscyplinach sportowych znaczenie techniki jest decydujące, ale w sportach, w których predyspozycje wysiłkowe pełnią przemożną rolę, poziom techniki ma znaczenie ograniczone. Jednakże zdaniem wielu badaczy m.in. Czajkowskiego (2004, 2020) sporty walki należą, oprócz gier zespołowych, do tych dyscyplin sportowych w których występują wszystkie przejawy i to w najwyższym stopniu techniki sportowej. Poszczególne nawyki ruchowe o charakterze otwartym (sytuacyjnym) tworząc złożone struktury ruchowe, wpływają na ekonomię i racjonalność

rywalizacji sportowej, ograniczając na przykład nadmierny koszt energetyczny w trakcie treningu, czy rywalizacji na zawodach. Zagadnienia te stanowią obecnie istotne źródło penetracji naukowych i formułowania interesujących problemów badawczych. Jednym z nich jest szukanie zależności pomiędzy zmiennymi z obszarów rejestracji biosygnałów, biokinematyki a poziomem zaawansowania zawodników w poszczególnych fazach jednostki treningowej oraz w zależności od stosowanej formy nauczania i doskonalenia wzorców ruchowych.

Dokonując wyboru materiału badawczego w niniejszej pracy zdecydowano się na przedstawicieli wschodnich sztuk walki – karateków w stylu kyokushin. Zaletą sztuk i sportów walki jest bogactwo technik zaczepnych i obronnych, jakie stosowane są w walce. Istotne jest również to, iż działania techniczne występują w formie nawyków ruchowych otwartych, co warunkuje proces nauczania i doskonalenia wzorców ruchowych w oparciu o mechanizmy plastyczności synaptycznej oraz pamięci krótkiego i długiego czasu. Warto zauważyć, iż w literaturze spotyka się wiele publikacji w kraju i zagranicą, które w dużej mierze dotyczą aspektów humanistycznych uprawiania sztuk walki. Badacze-humaniści na swój warsztat biorą głównie ideę Budo jako dziedzictwo historyczne, przekazywania z pokolenia na pokolenie wiedzy, wskazującej drogę do samodoskonalenia poprzez fizyczny, umysłowy oraz duchowy trening. Budo traktowane jest jako filozofia według ustalonych reguł i zasad, jednakże podkreśla się także to, iż w prawdziwej walce efektywne techniki niweczą ataki przeciwnika i muszą być wykonane w najkrótszym czasie przy użyciu ciosu kończącego (todome waza). Ważne jest by trening zawierał symulacje zagrożenia w realnym współzawodnictwie, w którym sukces zależy od wysokiego poziomu techniki i charakteru. W ostatnim czasie, dzięki wykorzystaniu technologii ukazały się liczne prace z perspektywy biomechaniki w których diagnozie podlegają wskaźniki siły w technikach ręcznych i nożnych karateków oraz wielkość kątów w stawach poszczególnych kończyn, w tym parametry przyspieszeń. Z punktu widzenia fizjologii, badaniom podlegają wskaźniki wydolności tlenowej i beztlenowej w powiązaniu z określonymi zdolnościami motorycznymi. Część autorów przedstawia swoje pomysły na kreowanie testów selekcyjnych oraz sprawdzających poziom różnych aspektów motoryczności (Piwowarski i Ambroży 2013; Cynarski 2014; Messaoud 2016).

Wybierając ze sztuk walki karate w stylu kyokushin kierowano się poglądami guru różnych odmian karate Koreańczyka Masutatsu Oyama, który w walce kładł nacisk na karate twarde, realistyczne, na umiejętność walki i zdolność przyjmowania uderzeń

i odporność na ból. Jak wiadomo na świecie popularnością cieszą się również inne szkoły i style jak Shotokan, Shito-ryu, Wado-ryu, Goju-ryu. Szczególnie Shotokan obejmuje stare techniki Okinawy i nowoczesne karate sportowe, których filozofia polega na zatrzymaniu ciosu czy kopnięcia przed celem ataku. W różnych stylach karate wyróżnia się setki technik, na które składają się pozycje, ciosy i pchnięcia, uderzenia, bloki, nakrycia i kopnięcia. Z badań technik karate i według opinii instruktorów 70% zwycięskich technik to techniki nożne. Jako najbardziej reprezentatywną do wszechstronnych analiz wybrano technikę kopnięcia w przód mae-geri. Ponadto należy dodać, że karate kyokushin – wolna walka (jiyu-kumite) jest najbardziej zaawansowaną formą karate, jedynie niektóre części ciała jak szyja, kręgosłup, stawy kolanowe są wyłączone jako cele ataku (Hachaj i wsp. 2017; Przybylski i wsp. 2021; Piepiora i Witkowski 2023).

Główna idea jaka przyświecała konceptowi niniejszej dysertacji było rozwiązanie problemu współzależności pomiędzy wzorcem ruchowym techniki mae-geri a spotykanymi w trakcie jednostki treningowej trzema fazami aktywności fizycznej z punku widzenia fizjologii: przed rozgrzewką, po rozgrzewce, w trakcie „walki z cieniem". Ponadto badani wykonywali technikę mae-geri w dwóch różnych warunkach, bardziej utylitarnie, na tarczę, której ruch jako sygnał wzrokowy – wyzwalany, rejestrował akcelerometr. Drugą opcją było kopnięcie w powietrze w formule kata, na swoje indywidualne tempo. Wykorzystano paradygmat nowicjusze-eksperci, aby ocenić różnice w opanowaniu wzorca ruchowego kopnięcia mae-geri w zależności od stopnia zaawansowania sportowego. Jako nowatorską koncepcję zaproponowano użycie zintegrowanych w tym samym czasie systemów: motion capture opartego na czujnikach inercyjnych IMU (ang. *inertial measurement unit)* oraz elektromiografii powierzchniowej sEMG (ang. *surface electromyography*). W pierwszym przypadku stworzono komputerowe modele biokinematyczne na podstawie wystandaryzowanej kalibracji. Następnie zarejestrowano badaną technikę z możliwością wyliczenia wskaźników biokinematycznych na podstawie EMG (elektromiografia, ang. *electromyography*) i IMU. W kolejnym etapie sformułowano strukturę napięć nerwowo-mięśniowych, z podziałem na czas reakcji RT (ang. *reaction time*) i czas ruchu MT (ang. *movement time*) aktywowanych mięśni (timing).

2. Znaczenie wzorców ruchowych w sportach walki

Wprowadzona rywalizacja w sztukach walki oraz włączenie niektórych z nich do programu igrzysk olimpijskich (judo czy taekwondo) w naturalny sposób wymusiła modyfikację celów jakie wcześniej sobie one stawiały. Proces treningowy musiał przejść modyfikację, aby dana sztuka walki była bardziej konkurencyjna. Analiza techniki sportowej zgodnie z zasadami biomechaniki jest podstawą procesu szkoleniowego w celu podniesienia poziomu zaawansowania sportowego (Wąsik 2011; Borysiuk 2006). Co więcej każda sztuka walki w swojej różnorodności form ataku i obrony przedstawia całkowicie różne techniki wykonania (Bielec i wsp. 2021; Witkowski i wsp. 2021). Migracja zawodników z jednego stylu do drugiego czy zestawienie różnych form walki MMA (ang. *mixed martial arts*) wymaga poznania przez trenerów właściwych wzorców ruchowy dla danej aktywności. Dla przykładu, bandal tchagui (taekwondo), mawashi geri (karate), tei chiyang (muaythai) to nazwy dla tożsamego kopnięcia z półobrotu w różnych sztukach walki i mimo podobieństwa w wykonaniu, czyli dosięgnięcie celu stopą, pod względem kinematycznym nie można mówić o podobieństwach między nimi. Walki w muaythai rozstrzygane są na podstawie nokautów lub agresywności zawodnika natomiast w karate rozstrzygnięcie wiąże się z liczbą zdobytych punktów, podobnie jak w taekwondo. Te różnice wynikające z zasad i założonych celów pomiędzy formami walki mogą prowadzić do korekt w wykonaniu kopnięcia z półobrotu zwłaszcza w trajektorii, prędkości czy zakresów kątów w stawach (Diniz i wsp. 2018; Wąsik i wsp. 2023).

Thibordee i Prasartwuth (2014) badając aktywację mięśniową i kątowe ustawienie stawów podczas kopnięcia z półobrotu w taekwondo ustalili, że grupa kopiąca ze zdecydowanie większą siłą (1260 N do 1986 N) w porównaniu z pozostałymi (714 N do 1206 N) uzyskała inny kąt zgięcia podeszwowego stopy, kolejno 35° i 45°. Fakt ten tłumaczyć można tym, że przy mniejszym kącie zgięcia podeszwowego stopy stabilizatory bierne, czyli aparat więzadłowy jest mniej rozciągnięty co zapewni większą stabilizację stawu. Zatem, podczas kopnięcia z półobrotu, niższy kąt zgięcia podeszwowego stopy we wzorcu ruchowym może być właściwą pozycją do osiągnięcia większej siły.

Z drugiej strony Branco i wsp. (2019) prowadząc badania nad zakresem ruchu u karateków podczas kopnięcia przedniego, znanego jako kopnięcie mae-geri przekonał się, że z wiekiem zawodnicy „wychodzą" ze wcześniej proponowanego wzorca ruchowego. Można to dostrzec w zakresie ruchu stawu kolanowego. Młodzi zawodnicy wy-

kazują większe wartości wyprostu i zgięcia stawu kolanowego pomiędzy pozycją wyjściową, a kontaktem z celem. To pokazuje jak wiele czynników może wpływać na wykonanie zadania ruchowego w prawidłowej trajektorii.

Poznanie wzorców ruchowych danych technik kopnięć czy ciosów, celem osiągnięcia wyższego poziomu zaawansowania to nie jedyna płynąca korzyść. Ustawienie kolejnych segmentów kończyny górnej czy dolnej oraz zakresy kątowe stawów umożliwiają działania prewencyjne w kontekście odnoszonych kontuzji. Chang i wsp. (2021) dzięki systemowi sześciu kamer i urządzeń elektromiograficznych dowiedli, że podczas kopnięcia z półobrotu w taekwondo w okolicę głowy przeciwnika kończyna podporowa w trakcie powrotu wykazuje znaczny wyprost i koślawość w stawie kolanowym oraz zwiększoną aktywację ścięgien grupy kulszowo-goleniowej w porównaniu z niższym celem, jak klatka piersiowa czy brzuch. Są to ważne informacje dla trenerów czy klinicystów medycyny sportowej w celu tworzenia strategii ochronnych przed kontuzjami.

3. Charakterystyka karate jako dyscypliny sportowej

Karate powstało w początkach XVII wieku na Okinawie, lecz znaczny wzrost zainteresowania tą sztuką walki odnotowano dopiero po II wojnie światowej. Do dnia dzisiejszego karate zrzesza miliony ludzi na całym świecie i czyni ją jednym z najpopularniejszych sportów walki (Chaabène i wsp. 2012; Quinzi i wsp. 2014). Karate przez lata ewoluowało by uzyskać dziś dwie dominujące cechy charakteryzujące tą sztukę walki: karate jako sztuka tradycyjnej samoobrony i nowoczesny sport przygotowujący do wyczynowej walki z przeciwnikiem. W związku ze wzrostem organizowanych zawodów na całym świecie i treningów ukierunkowanych na kontakt z drugim zawodnikiem, naukowcy zostali zmuszeni do zbadania czynników poprawiających wyniki w karate. Nowoczesne karate wymaga gruntownego przygotowania, które na ogół obejmuje różne metody treningowe: taktyczno-techniczne, techniczno-rozwojowe i randori czyli swobodny sparing (Tabben i wsp. 2014).

Karate jest podzielone na kata i kumite. Pierwsze opiera się na sekwencjach ataku i obrony oraz przyjęciu odpowiedniej pozycji w walce z jednym lub kilkoma wyimaginowanymi przeciwnikami. Różne szkoły przedstawiają różne technik kata i określają je różnymi nazwami. Drugie to prawdziwy pojedynek z użyciem uderzeń i kopnięć w ataku czy obronie. W walce dopuszczalne jest atakowanie głowy, szyi, klatki piersiowej, brzucha czy pleców, czas pojedynku to 3 minuty w kategorii seniorskiej mężczyzn i 2 minuty dla kobiet oraz młodszych kategorii wiekowych. Walka karate jest fulkontak-

towa i wymaga wysokich umiejętności m.in. opanowania precyzyjnych technik wykonywanych z dużą prędkością. Z drugiej strony kumite to sport, który opiera się na zasadach filozofii, etyki i moralności, co charakteryzuje sporty walki (Doria i wsp. 2009; Chaabène i wsp. 2012; Alesi i wsp. 2014; Zarrouk i wsp. 2016; Piepiora i wsp. 2016).

4. Analiza podstawowych technik w karate ze szczególnym uwzględnieniem kopnięcia mae-geri

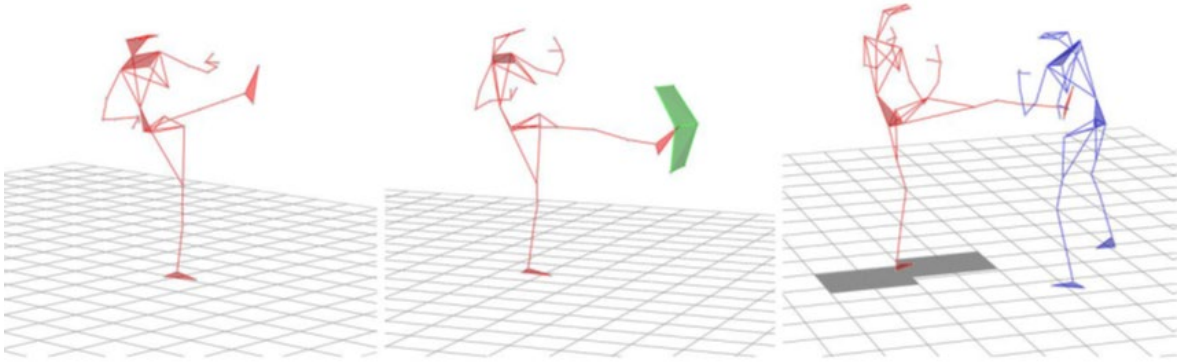
Umiejętność wykonania prawidłowej techniki w sportach walki odgrywa kluczową rolę w zdobywaniu punktów. Nie ma jednak wspólnego optymalnego wzorca ruchu do wykonania poszczególnych technik. Karate wymaga umiejętności fizycznych, technicznych i taktycznych oraz opiera się na uderzeniu przeciwnika ręką, łokciem, kolanem czy stopą. Wzorce ruchowe tych technik zazwyczaj obejmują zginanie prostowanie, odwiedzenie, przywiedzenie i rotacje w różnych stawach. Odpowiednia siła musi zostać przeniesiona na łańcuch kinematyczny, aby techniki uderzeniowe mogły przynieść punkty (Szczęsna i wsp. 2021).

Techniki uderzające (ciosy i kopnięcia) są jednymi z podstawowych elementów większości sportów walki, sztuk walki, czy systemów walki. W tych technikach energia uderzająca jest przenoszona przez ręce, nogi czy głowę. Celem jest zatrzymanie atakującego lub zwiększenie dystansu między broniącym się, a napastnikiem. Czynności te muszą być wykonane szybko, dokładnie i mocno w zgodzie z obowiązującymi zasadami (VencesBrito i wsp. 2014).

VencesBrito i wsp. (2011) porównali grupę czołowych portugalskich karateków z grupą kontrolną podczas wykonywania uderzeń kończyną górną w makiwarę. Okazało się, że grupa kontrolna znacznie wcześniej osiągnęła szczytową prędkość kątową ruchów przedramienia, niż doświadczona grupa karate. Może to świadczyć o defensywnym i ochronnym działaniu na struktury anatomiczne, stąd szybsza pronacja przedramienia przed kontaktem z makiwarą. Grupa karate wykonała zadanie w krótszym czasie, z mniejszym zakresem ruchu, a szczytowa prędkość kątowa ruchu przedramienia osiągnięta została później, tuż przed kontaktem. Ponadto karatecy osiągnęli maksymalną aktywność wszystkich agonistów ramienia i przedramienia później, co świadczy o lepszych osiągach balistycznych.

Walka w karate zawiera dużą paletę ciosów, ale również opiera się na kopnięciach – odpowiednio 89,09% i 8,36%. Różnica wynika głównie z faktu, że uderzenia są mniej skomplikowane, zapewniają większą precyzję i kontrolę oraz wymagają mniej-

szych nakładów energii. Ciosy wykonywane są szybciej dzięki czemu mają większą szansę na zdobycie punktów, natomiast są mniej efektowne dla zgromadzonej w hali publiczności (Szczęsna i wsp. 2021). Szczególnie niebezpieczne dla przeciwnika są kopnięcia z przodu, ponieważ można je wykonać bardzo szybko i ciężko je zablokować. Przykładem jest mae-geri, czyli technika wykonywana w niskiej strefie powyżej pasa, okolicy jamy brzusznej czy splotu słonecznego. Kopnięcie z przodu jest jedną z najsilniejszych technik i zarazem najłatwiejszą do opanowania. O powodzeniu ataku czy obrony decyduje prędkość, która charakteryzuje eksplozywny styl karate. Jest to jedna z najczęstszych technik, która pozwala na bezpośrednią eliminację lub zachowanie odpowiedniego dystansu (Znovar i wsp. 2012; Wang i wsp. 2013). Mae-geri stosuje się jako operację balistyczną podczas której atakujący próbuje dosięgnąć przeciwnika za pomocą stopy. Warunkiem osiągnięcia celu jest prędkość wykonania zadania ruchowego, co może spowodować ograniczone przewidywanie przeciwnika. Jedynie zsynchronizowana praca tułowia, energiczne zgięcie biodra, wyprost kolana i stopy jest w stanie umożliwić zdobycie punktu. Budowanie prawidłowo wykonanego zadania ruchowego wymaga odpowiedniego przewodnictwa nerwowo-mięśniowego, antycypacji oraz czucia głębokiego, czyli odpowiedniej propriocepcji. Dla zaawansowanych karateków schemat kopnięcia mae-geri wygląda następująco: zgięcie biodra z przywiedzeniem i rotacją wewnętrzną, wyprost kolana i zgięcie podeszwowe stopy z lekką rotacją zewnętrzną. Zatem poznanie prawidłowego wzorca ruchu umożliwi wprowadzenie odpowiedniego szkolenia (szczególnie w początkowej fazie nauczania) oraz zapobiegnie ewentualnym kontuzjom i pozwoli osiągnąć lepszy wynik podczas zawodów (Błaszczyszyn i wsp. 2019)



Ryc. 1. Kopnięcie mae-geri (Szczęsna i wsp. 2021)

Miosevic i wsp. (2012) analizując wzorce ruchowe kopnięcia mae geri u karateki klasy mistrzowskiej i badanego z grupy kontrolnej zaobserwował znaczące różnice. Wyszkolony zawodnik wykonał zadanie w krótszym czasie niż konkurent. Niewytrenowana osoba znacznie wolniej unosi udo, a spowolnienie tego segmentu ciała warunkuje wolniejsze przyśpieszenie łydki i stopy. Jak podaje badacz tą fazę należałoby skrócić nawet o około 300 do 600 ms. Podobne obserwacje przedstawił Ervilha i wsp. (2020) oceniając kopnięcie „roundhouse kick" u osób wytrenowanych i początkujących. Elitarni sportowcy mieli krótszy czas całkowity zadania, krótszy czas przedmotoryczny (od bodźca do aktywacji mięśni) oraz szybciej poruszyli kończyną w kierunku celu. Takie wyniki badań pozwalają określić strategię szkoleniową i pomagają zbliżyć się do wzorcowego wykonania zadania ruchowego.

Dzięki ocenie aktywności nerwowo-mięśniowej VencesBrito i wsp. (2014) określili podwójne okresy aktywacji mięśni u karateków i grupy kontrolnej wykonujących mae-geri. Dzięki badaniom poparli tezę o istnieniu strategii skurczowo-relaksacyjno-skurczowej, dzięki której kopnięcie jest wykonywane efektywniej. Ponadto wykazali, że karatecy wykonują mniejszy zakres ruchu niż grupa kontrolna podczas tego samego zadania ruchowego oraz że istnieją mniejsze okresy skurczu pomiędzy antagonistami uda, dzięki czemu karatecy uzyskują wzrost prędkości kończyny dolnej w porównaniu z grupą kontrolną.

Z drugiej strony Pozo i wsp. (2011) nie zaobserwował znaczących różnic w sile i kątowych zakresach ruchu pomiędzy grupą krajową i międzynarodową belgijskich karateków wykonujących mae-geri, ale zauważył krótszy czas wykonania zadania. Wynika z tego, że głównym czynnikiem determinującym zdolności karateki jest prędkość, rozumiana jako szybsze wykonanie kopnięcia, ale także szybsze osiągnięcie szczytowej wartości kątowej kończyny dolnej. Faza wstępnego obciążenia w pozycji zenkutsu-dachi daje efektywniejsze zrekrutowanie liczby włókien mięśniowych, co skutkuje szybszym wykonaniem kolejnych faz u elity.

Wąsik i współpracownicy badając prędkość kopnięcia frontalnego zaobserwowali, że zawodnicy kopali najszybciej kiedy przed nimi nie było celu – uderzenie w powietrze. Najwolniej zadanie zostało wykonane, gdy badany kopał w piłeczkę do tenisa stołowego zawieszoną na sznurku. Na drugim miejscu znalazło się uderzenie w tarczę. Cel wywołał kopnięcie silniejsze i wolniejsze. Prędkość stopy została zmniejszona, gdy potrzebna była największa precyzja (uderzenie w piłeczkę). Badacze sugerują zatem, że wzrost dokładności i siły zmniejsza prędkość kopnięcia. Moc jaką dysponują zawodnicy

jest iloczynem siły mięśni i prędkości segmentarnej kończyny dolnej. W tym ujęciu dążenie do maksymalizacji prędkości nie zawsze gwarantuje maksymalną moc. W związku z tym trening specjalistyczny powinien być ukierunkowany na zrównoważenie szybkości i siły. Badacze sugerują, aby wykorzystywać w szkoleniu cel fizyczny, dla zwiększenia komponenty siłowej (Wąsik i Shan 2015; Wąsik i Góra 2016).

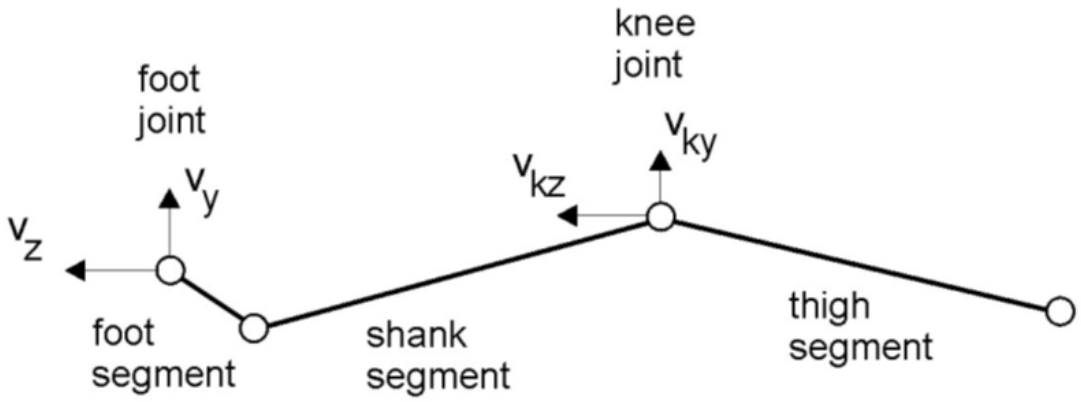
Co ciekawe badacze zwracają uwagę na prędkość kolana, która w uderzeniu w powietrze i tarczę jest bardzo zbliżona (kolejno 5,28 ± 0,13 m/s and 5,79 ± 0,14 m/s). Może to świadczyć o tym, że zgięta kończyna podąża maksymalnie szybko w kierunku celu, aby zaraz przed nim zwolnić końcowy segment (stopa) i precyzyjnie oddać kopnięcie. Może mieć to również charakter ochronny, gdyż niecelne kopnięcie wiąże się z potencjalnymi urazami aparatu ruchu (Wąsik i Shan 2015).

Kolejnym elementem jaki zaobserwowali badacze są piki prędkości segmentów kończyny dolnej tuż przed kontaktem z workiem. Prędkość rosła stopniowo od biodra po stopę, co sugeruje przeniesienie prędkości od odcinków proksymalnych do dystalnych. Może to przyczynić się do osiągnięcia większej mocy w kontakcie z celem (VencesBritto i wsp. 2014).

Frontalne kopnięcie mae-geri można analizować jako trajektorię ruchu względem układu współrzędnych x, y, z. Zgodnie z tym kopiący w pierwszej fazie zgina kolano przenosząc je w stronę klatki piersiowej oraz jednocześnie prostuje palce i utrzymuje je w tej pozycji. Mięśnie stawu kolanowego kończyny kopiącej powinny być rozluźnione, podczas gdy kostka i kolano kończyny podporowej lekko zgięte z palcami skierowanymi na cel. Stopy powinny być ustawione zgodnie z osią goleni. Kolano i palce kończyny kopiącej powinny być ustawione w tej samej płaszczyźnie pionowej i skierowane w stronę celu. Dzięki szybkiemu ruchowi kolana (wyprost) i obrotowi biodra o około 45° zawodnik kopie prosto przed siebie osiągając cel za pomocą śródstopia (głowy kości śródstopia – chusoku). Należy pamiętać, że ruch kolana w kierunku wyprostu (optimum – 0°) jest kluczowym elementem warunkującym prędkość i siłę w osiągnięciu celu czy powaleniu przeciwnika. Jest to najkorzystniejsze ustawienie pośredniego segmentu warunkujące przeniesienie siły na goleń i staw skokowy (Cynarski i wsp. 2014; Portela i wsp. 2014).

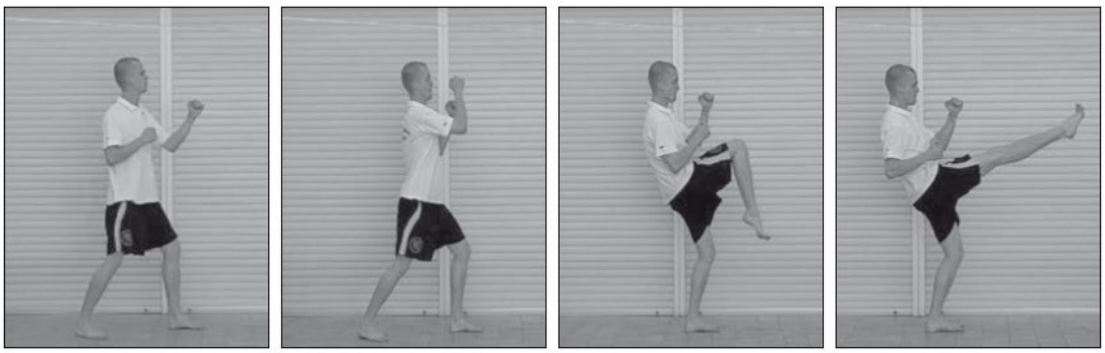
Kumite wymaga zupełnie innych warunków niż kata. Choreograficzne powtórzenia ciosów i kopnięć naśladujących w żaden sposób nie oddają pojedynku z przeciwnikiem. Różnice wynikają chociażby w ocenie odległości od zawodnika, siły i prędkości zastosowanych ataków czy obron. Zupełnie inne wartości kątowe obserwuje się w sta-

wach kolanowych czy skokowych w kopnięciach do celu w porównaniu z powietrzem. Zatem istotnym jest, aby treningi specjalistyczne opierać na wyznaczonym celu, do którego zawodnik dostosowuje technikę, siłę, prędkość etc. (Portela 2014).



Ryc. 2. Ogólny widok przedstawiający stawy i segmenty kończyny kopiącej (Wąsik i Góra 2016)

Według Cynarskiego wszystkie składowe kopnięcia mae-geri muszą być wykonywane w sposób precyzyjny i płynny, bez żadnej przerwy. Tylko wtedy pierwsza faza (podnoszenie kolana) wzmocni gwałtownie kopnięcie. Atak najczęściej wykonuje się w strefę *Chudan* (splot słoneczny), a strefa uderzająca w sposób prostolinijny przesuwa się w kierunku celu. Kopnięcie można wykonać kończyną zakroczną lub wykroczną, najlepiej z pozycji stabilnej (Cynarski i wsp. 2018).



Ryc. 3. Kopnięcie mae-geri (Witte i wsp. 2012)

Autorzy podkreślają, że eksplozywny i siłowy charakter karate odgrywa kluczową rolę w osiągnięciu wyników. Według Światowej Federacji Karate skuteczność w kumite zależy od szybkości i siły działań karateki oraz zwiększonej elastyczności mięśni, co umożliwia wykonanie kopnięć w okolicy głowy przeciwnika. Dlatego karateka ma większy zakres zgięcia stawów biodrowych i kolanowych zarówno w lewej kończynie

jak i prawej. Dodatkowym czynnikiem warunkującym sukces jest czas reakcji w odpowiedzi na bodziec, który znacznie różni się u początkujących i zaawansowanych karateków (Katić i wsp. 2013; Wąsik i Góra 2016).

Siła i szybkość kopnięcia zależy głównie od ilości zaangażowanych w pracę mięśni czy włókien mięśniowych. Jednak nie można zapomnieć o koaktywacji mięśni, która odgrywa kluczową rolę w stabilizacji stawu i zmniejsza się wraz z nabywaniem umiejętności przez zawodników. Badacze zauważyli znacząco mniejszą koaktywację i szybsze kątowe oraz liniowe prędkości podczas wykonania kopnięcia przez zawodników elitarnych taekwondo w zestawieniu z mniej doświadczonymi. Wskazuje to na lepszą koordynację nerwowo-mięśniową i stabilizację stawów oraz poprawę wzorców kinematycznych kończyny dolnej (Moreira i wsp. 2018).

VencesBritto i wsp. (2014) określili kolejność aktywacji poszczególnych grup mięśniowych w kopnięciu mae-geri. Aktywność zapoczątkowuje mięsień piszczelowy przedni jako stabilizator stawu skokowego i zginacz grzbietowy. Kolejno do aktywacji włączają się zginacze biodra, prostowniki stawu kolanowego i zginacze podeszwowe stopy. Na ostatnim miejscu znalazł się mięsień dwugłowy uda.

Wydaje się, że rozpatrywanie mea-geri w kontekście zakresu kątowego, aktywacji mięśni, prędkości wykonania zadania jest szczególnie ważne przy obserwacji karateki najwyższego poziomu i monitorowaniu statusu treningowego szkolących się zawodników.

5. Specyfika wysiłkowa karate kyokushin. Znaczenie rozgrzewki

Określając czynniki fizjologiczne sportowca możemy wymienić: wytrzymałość sercowo-oddechową i mięśniową, siłę, elastyczność oraz skład ciała. To jednak nie wszystkie komponenty określające zawodnika klasy mistrzowskiej. Ważnym i nierozerwalnym elementem są predyspozycje: szybkość, zwinność, moc, równowaga, koordynacja i czas reakcji. Większość sportów walki łączy powyższe składowe, a żaden czynnik nie dominuje znacząco. W karate zawodnik podczas walki musi wykonać kilka akcji o dużym natężeniu, a to potrafią tylko najlepsi karatecy o wysokiej sprawności (Chaabe`ne i wsp. 2012).

Jednym z ważniejszych czynników warunkujących osiągnięcia sportowca jest poziom wydolności krążeniowo-oddechowej. Prawidłowa współpraca systemu krążeniowo-naczyniowego i oddechowego pozwala na aktywności przy przedłużających się wysiłkach. Wskaźnikiem aktualnego stanu organizmu jest VO2max, definiowany jako

największa ilość tlenu jaką osoba może wykorzystać podczas ćwiczeń. Niektóre badania wykazały, że walka w karate bardziej angażuje organizm do przemian o charakterze tlenowym, niż w pozostałych sportach walki jak np. w taekwondo. Te różnice mogą wynikać z różnego czasu pojedynku lub większego zaangażowania kończyn górnych w karate. Poziom wydolności tlenowej jest istotnie ważny w kontekście odpoczynków między walkami (Chaabe`ne i wsp. 2012; 2015).

Z drugiej strony autorzy podają, że walka kumite oparta jest na wielu pojedynczych akcjach (atak/obrona), w których czas nie przekracza jednej sekundy. Co więcej zliczono aktywności zawodnika na macie podczas 3 minutowego pojedynku, a wyniki oscylują w granicach 19 sekund. Fakt ten może świadczyć o tym, że walki karate opierają się na chwilowych, eksplozywnych akcjach, które przeplatane są czasem odpoczynku. Można więc stwierdzić, że głównym źródłem uzyskiwania energii w kluczowych momentach pojedynku są beztlenowe przemiany energii. (Chaabe`ne i wsp. 2012; 2015). Autorzy podają, że średnie stężenie kwasu mlekowego po Mistrzostwach Świata w Karate wyniosło u zawodników 11.1 mmol/l, co świadczy o dużym obciążeniu głównie procesami beztlenowymi. Inne wyniki badań pokazują, że podczas kumite aż 70% energii otrzymywane jest z tlenowych przemian, a pozostałe 30% z innych źródeł uzyskiwania energii (Chaabene i wsp 2015).

Badacze do dziś spierają się, który z systemów (tlenowy/beztlenowy) odgrywa kluczową rolę w walkach karate.

Wielkość obciążeń jakie wymusza karate na zawodnikach obserwujemy w zapisie częstości skurczów serca. Odnotowano, że symulowana walka powoduje wzrost HR (ang. *heart rate*) do około 130–150 ud./min., gdzie oficjalny pojedynek do 180 ud./min. Symulacja generuje zdecydowanie niższe reakcje sercowo-naczyniowe w porównaniu z walką bez względu na płeć. Inne badania pokazują, że podczas turnieju karate reakcje sercowo-naczyniowe osiągnęły 91% ± 5% HR max (ang. *maximal heart rate*), a zawodnicy przez około 65% czasu spędzili na aktywności powyżej 90% HR max (Kostovski i wsp. 2017).

Z kolei Zaborski i wsp. (2015) zaobserwowali, że trening opierający się na trzech walkach angażował układ sercowo-naczyniowy bardziej niż oficjalne trzy pojedynki (trening – 179–189 HR, zawody – 171–175 HR). Autorzy uważają, że podczas treningu zawodnicy nie biorą pod uwagę wyniku, ale większy nacisk kładą na intensywność pracy, stosowanych technik, częstotliwość i liczbę ataków oraz obron, celem przygotowania się do zdobywania punktów w zawodach. Podczas oficjalnego pojedynku sytuacja

przedstawia się nieco inaczej, ponieważ każda walka ma ogromne znaczenie, a tylko zwycięstwo prowadzi do następnej rundy. W związku z tym obserwuje się większe wykorzystanie elementów taktycznych, a tętno jest niższe w trakcie walki.

W swoich badaniach Vujkov i wsp. (2015) porównali kumite do kata obserwując reakcje organizmu w odpowiedzi na oba rodzaje obciążeń. Według badaczy nie ma znaczącej różnicy w reakcji układu sercowego w obu konkurencjach, choć należy stwierdzić, że zarówno jedna jak i druga aktywność wywołuje znaczny stres układu sercowo-naczyniowego: kata – 188–189 HR oraz kumite – 184–192 HR. Podobnie u Dori i wsp. (2009) odpowiednio 175–176 HR.

Propriocepcja definiowana jest jako zmysł orientacji ułożenia ciała w przestrzeni. Mechanoreceptory zlokalizowane w ścięgnach, mięśniach czy stawach zbierają informacje o kątowym ułożeniu kończyn i przekazują je do centralnego układu nerwowego. Propriocepcja odgrywa najważniejszą rolę w świadomości własnego ciała, kontroli ruchu czy koordynacji mięśniowej. Niestety niewiele badań powstało na temat związku pomiędzy rozgrzewką, a propriocepcją. Wiadomo, że ćwiczenia rozgrzewkowe przygotowują ciało do aktywności, zmniejszają ryzyko urazów, a także poprawiają aktywację kluczowych mięśni, celem lepszej kinematyki ruchu oraz wyników końcowych. Niestety nie do końca poznano jak rozgrzewka wpływa na kontrolę ruchu i koordynację mięśniową. Wydaje się to kluczowym elementem szczególnie dla sportów takich jak karate, gdzie wiele pojedynczych elementów takich jak uderzenia, blokowania i kopnięcia, należy w harmonijny sposób połączyć w całość Magalhães i wsp. 2010; Parr i wsp. 2017).

Rozgrzewka w znacznym stopniu wpływa na większy pobór tlenu i mniejszą akumulację mleczanu we krwi. Zostało potwierdzone, że większe stężenie kwasu mlekowego może zmniejszać potencjał czynnościowy prędkości przewodzenia i w konsekwencji modyfikować napięcie bioelektryczne mięśni w badaniu EMG (Konrad 2007).

Do ciekawych wyników doszedł Parr i wsp. który zaobserwował spadek sygnału EMG mięśni pośladkowych po rozgrzewce przeprowadzonej u profesjonalnych rugby'stów. Wytłumaczyć to można tym, że kinematyka ruchu została zmieniona w taki sposób, aby mięśnie pośladkowe działały bardziej optymalnie (Parr i wsp. 2017). Takie zjawisko pozwala spojrzeć na rozgrzewkę jako element wpływający na jakościową i ilościową ocenę ruchu określoną za pomocą EMG i wzorców ruchowych.

Badacze zajmujący się zawodnikami karate często obciążają karateków ćwiczeniami o charakterze ogólnym jak bieg i stretching, ale również aktywnościami specyficznymi dla sportów walki. Przed właściwymi badaniami karatecy wykonują roz-

grzewkę, którą zwykle stosują przed treningiem (Vujkov i wsp. 2015; Doria i wsp. 2009; Ribeiro i wsp. 2006; Zaborski i wsp. 2015). Przeważnie obciążenie układu sercowo-naczyniowego waha się w granicach 60–70% do 75% HRmax (ok. 125 HR – wiek badanych ok. 21 lat (Vujkov i wsp. 2015), ok. 124–134 HR – wiek badanych ok. 16 lat), co można uznać za wysiłek o umiarkowanej intensywności (Garber i wsp. 2011).

6. Ocena wskaźników ruchu z użyciem elektromiografii powierzchniowej (sEMG) i systemu motion capture opartego o czujniki inercyjne (IMU)

Wykonywanie ruchów wymaga aktywizacji mięśni rozmieszczonych na całym ciele w skoordynowanych i zmieniających się wzorcach ruchowych. Zrozumienie w jaki sposób układ nerwowy wybiera i generuje sygnały dla tych wzorców pozostaje głównym celem neuronauk. Kluczowe w tym kontekście jest badanie „poleceń" dla mięśni czyli sygnałów aktywacji mięśni płynących z neuronów ruchowych oraz jak są one powiązane z wymaganiami zadania ruchowego (Wimalasena i wsp. 2022).

Mięśnie człowieka możemy podzieli ze względu na występowanie i funkcje do jakich zostały przydzielone. Mięśnie poprzecznie prążkowane zależne od naszej woli będą generowały skurcze szybkie i krótkie, natomiast mięśnie gładkie, powolne i długotrwałe. Aby skurcz mięśnia mógł się dokonać potrzebny jest impuls elektryczny, który pobudzi jednostkę motoryczną, czyli strukturę obejmującą daną ilość włókien mięśniowych. W wyniku tego dochodzi do depolaryzacji błony włókna mięśniowego i wytworzenia potencjału czynnościowego. Końcowym etapem jest skurcz mięśnia (Krawiecki i wsp. 2016).

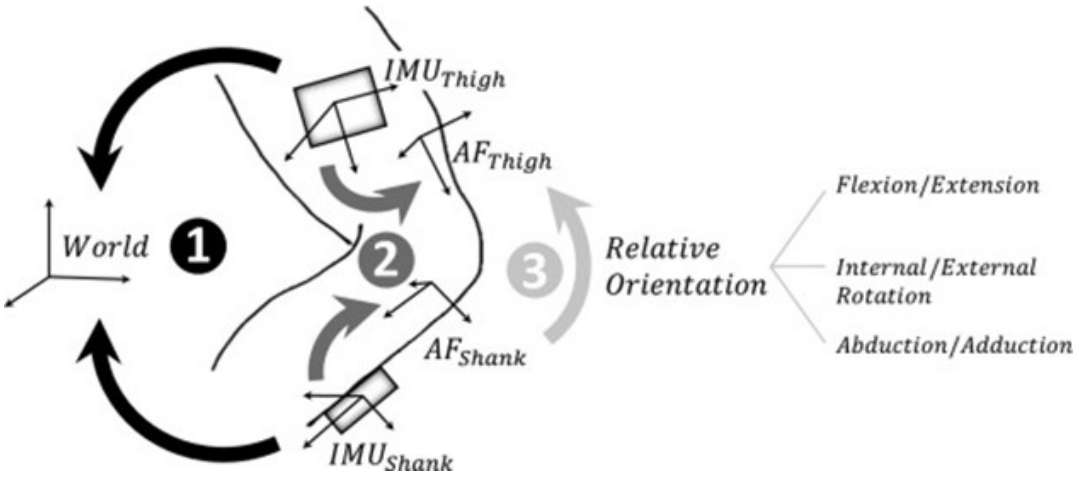
Do pomiaru aktywności mięśni u sportowców stosuje się metodę elektromiografii powierzchniowej. Jest to niebolesna technika pomiarowa, w której wykorzystuje się przyklejone elektrody na wcześniej przygotowaną skórę. Każda z nich zawiera pewną ilość żelu, który zapewnia przyleganie i lepszy odbiór sygnału z większej ilości jednostek motorycznych (Krawiecki i wsp. 2016).

EMG to technika związana z uzyskiwaniem i analizowaniem sygnałów mioelektrycznych występujących podczas pracy mięśnia. Inaczej mówiąc jest to badanie aktywności nerwowo-mięśniowej w czasie postawy, leczenia czy treningów. Dzięki zastosowaniu sEMG możemy określić min.: maksymalny dowolny skurcz MVC (ang. *maximal voluntary contraction*), kolejność wyładowań (agoniści/antagoniści), częstotliwość pracy, czas włączenia i wyłączenia mięśnia czy czas aktywności (Konrad 2007; Stewart i wsp. 2003; Borysiuk i wsp. 2015). sEMG z powodzeniem używana jest do wdrażania

elementów szkoleniowych, doskonalenia techniki i oceny zamierzonych efektów, ale także do zmniejszenia prawdopodobieństwa kontuzji. Do oceny aktywności mięśni w sportach szybkościowych, wymagających ciągłego przemieszczania np. sprinty głównie stosuje się systemy bezprzewodowe. Dzięki temu można odwzorować warunki w jakich startuje zawodnik, pomijając laboratoria, gdzie badania wykonuje się w zamknięciu (Howard i wsp. 2018).

EMG dostarcza istotnych informacji na temat aktywności mięśni podczas ruchu, ale do pełnej oceny jakościowej i ilościowej należy wykorzystać analizę kinematyczną. To badanie dostarcza istotnych informacji o zakresie ruchu ROM (ang. *range of motion*) prędkości czy przyśpieszeniu kątowemu (Konieczny i wsp. 2018; Menolotto i wsp. 2020). Tradycyjnie rejestracja ruchu odbywała się za pomocą szybkich systemów optycznych, które zapisywały i analizowały segmenty ciała w dynamice. Systemy te oceniane jako niezawodne i odpowiednie do pomiaru złożonych aktywności ruchowych ciała. Przykładem takiego systemu jest VICON, gdzie pasywne znaczniki odblaskowe umieszczone na określonych punktach ciała, odbijają światło do kamer, a system oblicza trójwymiarowe pozycje w przestrzeni. Choć systemy te były i są nadal powszechnie stosowane to koszty, problemy z transportem i konieczność prowadzenia badań w warunkach laboratoryjnych zmusiły do szukania alternatywnych metod śledzenia ruchu. Jednym z takich systemów jest IMU. To urządzenia, składające się z żyroskopu, akcelerometru i magnetometru, które mają za zadanie zebrać informacje odnośnie ułożenia segmentów ciała w przestrzeni 3D. IMU umożliwia użytkownikom rejestrowanie ruchu w czasie rzeczywistym dzięki szybkiej konfiguracji i minimalnym wymaganiom przestrzennym zwiększa się przenośność i możliwość pracy w innym środowisku niż laboratoryjne. Dzięki temu system zaczęto wykorzystywać w sporcie określając prawidłową technikę, monitorując postępy, czy wykonując badania przesiewowe w kontekście możliwych kontuzji (Valevicius i wsp. 2018; Vitali i Perkins 2020; Choo i wsp. 2022).

Czujniki inercyjne systemu IMU ustawia się na kolejnych segmentach ciała np. na udzie i podudziu i w trzech krokach szacuje się wielkość kątów stawu kolanowego.



Ryc. 4. Schemat przedstawiający sposób oszacowania kątów stawu kolanowego w 3D przy pomocy systemu IMU (Vitali i Perkins 2020)

Wszystkie te wartości rejestrowane za pomocą czujników inercyjnych (IMU) umieszczonych na segmentach ciała badanego mogą dostarczyć cennych informacji o lokalizacji części ciała w przestrzeni (Konieczny i wsp. 2018; Menolotto i wsp. 2020). Poruszanie kończyną górną opiera się na złożonym układzie wymagającym szerokiego zakresu kątów stawu i skoordynowanej aktywacji wielu mięśni (Ricci i wsp. 2015). Zapis ruchu podczas wykonywania wzorców pozwala na określenie charakterystyki tej aktywności oraz koordynacji nerwowo-mięśniowej. Identyfikacja złożonej kinematyki u niedoświadczonych sportowców może pomóc w uczeniu się podczas treningów. Jest to cenne źródło wiedzy dla trenerów w zdefiniowaniu strategii nauczania, która umożliwia osiągnięcie lepszych wyników, uniknięcie błędów czy urazów.

Analiza ruchu ludzkiego ciała nie jest prosta. Jeśli jednak wszystkie części działają harmonijnie, możliwe jest stworzenie prostego teoretycznego modelu, który pozwoli na opisanie ruchu w dużym przybliżeniu. Wykonywanie nowych umiejętności sportowych, które różnią się od aktywności dnia codziennego, stwarza nowe wymagania, zarówno w centralnym układzie sterowania, jak i na obwodzie. Dlatego też należy kontrolować aktywność kinematyczną i mięśniową, aby odpowiednio reagować na zmieniające się warunki do momentu osiągnięcia właściwej adaptacji. Dlatego zasadnym wydaje się wykonanie obu badań celem pełnej oceny jakościowej i ilościowej ruchu (Concetto 2010; VencesBrito i wsp. 2011; 2014; Ricci i wsp. 2015; Jemili i wsp. 2016).

7. Paradygmat nowicjusze-eksperci jako metodologiczna przesłanka procesu badawczego w sporcie

Założenia podejścia eksperckiego w badaniach psychologicznych, pedagogicznych i w naukach o sporcie sformułowali już w 1991 roku, Ericsson i Smith, wydając rok później dzieło: Toward a General Theory of Expertise: Prospects and Limits. Koncepcja nie straciła aktualnie na znaczeniu i jest rozwijana przez wielu autorów (m.in. Williams i wsp. 2017). Sprowadza się ona do rejestrowania systematycznych procesów uczenia się i nabywania nowych umiejętności. W ten sposób tworzone są swoiste ramy czasowe osiągnięć i ich najwyższego – eksperckiego poziomu. W trakcie procesu uczenia się a w przypadku sportu, doskonalenia umiejętności technicznych i kształtowania predyspozycji motorycznych, możliwe jest tworzenie modelowych charakterystyk najlepszych uczniów-zawodników, którzy otrzymują miano ekspertów. W procesie uczenia się nowych wzorców ruchowych i utrwalania już wcześniej poznanych, następuje gromadzenie wielu danych, wskaźników, dzięki którym określamy tempo uczenia się poszczególnych umiejętności ruchowych i oceniamy, które z nich mają progres lub ulegają redukcji (Ericsson i Smith 1992).

W trakcie procesu uczenia się dochodzi do interwencji nauczających (trenerów, instruktorów), czyli korekt technicznych, które można określić jako informacje zewnętrzne w ramach sprzężenia zwrotnego. W ten sposób ocenia się wpływ różnych rodzajów interwencji na efektywność uczenia oraz formułuje indywidualne strategie dla poszczególnych zawodników. Przedstawione podejście pozwala na identyfikację cech czy właściwości, które mają największy potencjał w dążeniu do mistrzostwa sportowego. Sens prezentowanego konceptu sprowadza się do badań porównawczych nowicjuszy w danej dziedzinie, właśnie z ekspertami. Dzięki temu jesteśmy w stanie prognozować rozwój adeptów określonych dyscyplin sportowych, formułować wnioski praktyczne a nawet istotnie zwiększać poznawczo wiedzę nauczających, w przypadku sportu: trenerów, instruktorów, rodziców. Na tej kanwie stworzono termin celowej praktyki „deliberate practice" (Ericsson i wsp. 1993). Z punktu widzenia sportów walki w tym szkolenia i nauczania techniki w karate, wychodząc z głównych założeń dysertacji, nacisk położono na aspekty percepcyjno-poznawcze, uwarunkowania nerwowo-mięśniowe oraz biokinematyczne.

Projektując testy wykonania techniki mae-geri na tarczy na bodziec wzrokowy, rejestrowany przez akcelerometr uzyskano dane odnośnie czasu reakcji (RT) i czasu

ruchu (MT). W powiązaniu z napięciem bioelektrycznym mięśni (EMG) uzyskujemy dane opisujące właśnie profil percepcyjno-poznawczy badanych karateków. Z kolei rejestracja sygnału EMG w opcji MVC umożliwia zapis struktury aktywacji mięśni w relacji do zdolności motorycznych, w tym przypadku generowanej siły, gdyż szybkie dynamiczne ruchy wyrażone przez wskaźnik MVC, cechują zawodników zaawansowanych. Podobnie w odniesieniu do biokinematycznej struktury ruchu, zawodnicy eksperci w porównaniu z początkującymi hipotetycznie odznaczają się bardziej efektywnymi parametrami, szczególnie w odniesieniu do kątów w stawach skokowych, kolanowych i biodrowych.

Realizując paradygmat nowicjusze-eksperci trenerzy winni tak programować cele szkolenia by młodzi zawodnicy adekwatnie do swoich możliwości i w określonym czasie dążyli do nauczania i doskonalenia wzorców ruchowych przypisanych do poziomu eksperckiego.

II. Cele

Jedną z najczęściej stosowanych technik w sportach walki, w tym w karate jest kopnięcie frontalne, znane jako mae-geri, uważane za jedno z najsilniejszych i najszybszych kopnięć. Dzięki połączeniu systemów EMG oraz czujników inercyjnych możliwa jest obiektywna analiza biokinematyczna kopnięcia mae-geri (od strony pracujących mięśni oraz parametrów czasowo-przestrzennych ruchu). Zatem analiza wzorca ruchowego w kopnięciu mae-geri jest istotnym elementem zarówno w aspekcie prewencyjnym, aplikacyjnym jak i naukowym.

1. Cel główny

Celem głównym pracy była analiza wzorca ruchowego kopnięcia mae-geri na różnym etapie szkolenia zawodników karate kyokushin – poziom zaawansowany – w porównaniu z grupą kontrolną – średniozaawansowani.

2. Cele szczegółowe

1. Określenie struktury czasowej RT i MT (czas reakcji i czasu ruchu) wzorca ruchu techniki mae-geri.
2. Ocena efektywności wzorca ruchowego aktywowanych mięśni w grupie zaawansowanej i średniozaawansowanej.
3. Ocena i analiza parametrów kinematycznych w stawie biodrowym, kolanowym i skokowym.
4. Scharakteryzowanie modelu ruchu (kopnięcie mae-geri) w kontekście optymalizacji wzorca ruchowego w trzech warunkach (przed rozgrzewką, po rozgrzewce, po „walce z cieniem").

3. Pytania badawcze

1. Czy stopień zaawansowania sportowego determinuje różnice we wzorcach ruchowych w kopnięciu mae-geri?
2. W jakim stopniu obserwuje się różnice w timingu, interpretowanego jako czas reakcji (RT) i czas ruchu (MT) w poszczególnych grupach?
3. Czy można stwierdzić różnice w strukturze napięć mięśniowych rejestrowanych przez elektromiografię powierzchniową w zależności od badanej grupy?

III. Materiał i metody

1. Charakterystyka grupy badanej

Badania zostały przeprowadzone na Wydziale Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii, Politechniki Opolskiej w laboratorium antropomotoryki i biomechaniki. Grupę badaną [N = 28] stanowili zawodnicy karate kyokushin w stopniu zaawansowanym (od. 3 kyu – zielony pas – wzwyż, N = 13) grupę kontrolną zawodnicy średniozaawansowani (od 6 do 4 kyu, N = 15). Wszyscy badani reprezentowali poziom sportowy zgodnie z założeniami pracy. Każdy badany został poddany pomiarom antropometrycznym. Przed badaniami każdy zawodnik został poinformowany o celu pracy oraz założeniach, a także wyraził pisemną zgodę na udział w badaniach.

Tabela 1.

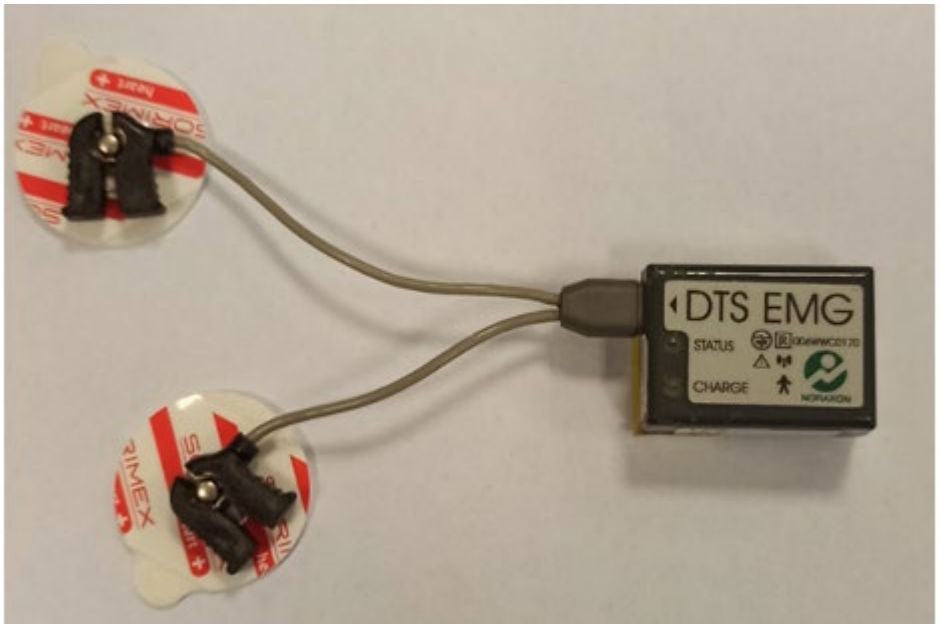
Charakterystyka grupy średniozaawansowanej i zaawansowanej

Numer	Wiek [lata]	Masa ciała [kg]	Wysokość ciała [m]	BMI	Poziom zaawansowania
1s	21	87	1,78	27,46	**6 kyu**
2s	37	93	1,79	29,03	**6 kyu**
3s	21	63	1,72	21,30	**6kyu**
4s	35	84	1,82	25,36	**5 kyu**
5s	18	70	1,70	24,22	**6 kyu**
6s	19	83	1,85	24,25	**6 kyu**
7s	20	67	1,82	20,23	**5 kyu**
8s	18	65	1,75	21,22	**6 kyu**
9s	23	74,5	1,82	22,49	**5 kyu**
10s	20	93	1,96	24,21	**6 kyu**
11s	22	78	1,83	23,29	**5 kyu**
12s	21	114	1,80	35,19	**4 kyu**
13s	39	90	1,84	26,58	**6 kyu**
14s	23	73	1,80	22,53	**4 kyu**
15s	30	78	1,79	24,34	**5kyu**
1z	22	85	1,80	26,23	**3 kyu**
2z	37	84	1,82	25,36	**1 dan**

3z	41	96	1,82	28,98	**2 kyu**
4z	34	105	1,83	31,35	**1 dan**
5z	22	66,5	1,79	20,75	**2kyu**
6z	55	89	1,82	26,87	**3 dan**
7z	43	89,5	1,85	26,15	**2 kyu**
8z	20	64	1,70	22,15	**3 kyu**
9z	18	75	1,80	23,15	**1 kyu**
10z	24	91,5	1,86	26,45	**1 dan**
11z	24	74	1,75	24,16	**2 kyu**
12z	38	83	1,82	25,06	**2 kyu**
13z	28	73	1,78	23,04	**2 kyu**

„n”s – średniozaawansowany; „n”z – zaawansowany

2. Narzędzia badawcze



Ryc. 5. Czujnik EMG i elektrody

2.1. Elektromiografia powierzchniowa – sEMG

Do badań zastosowano bezprzewodowy system powierzchniowej EMG firmy Noraxon, Scottsdale, USA, typ DTS (ang. *direct transmission system*) z częstotliwością próbkowania 3000 Hz, który rejestruje aktywność bioelektryczną mięśni (ryc. 5.). Sygnał cyfrowy rejestrujący parametry EMG został przesyłany telemetrycznie do komputera. Obróbkę i analizę sygnału przeprowadzono w oprogramowaniu myoResearch 3.16. Sygnał został przefiltrowany filtrem pasmowo-przepustowym z częstotliwościami od-

cięcia 80–250 Hz, a następnie wygładzony za pomocą algorytmu RMS (ang. *root mean square*) z oknem czasowym 100 ms. Preżelowane, samoprzylepne elektrody powierzchniowe (Ag/AgCl, firmy Sorimex), umieszczone zostały pomiędzy punktem ruchowym, a przyczepami ścięgien, wzdłuż podłużnej linii środkowej mięśnia, zgodnie z wytycznymi SENIAM. Przed umieszczeniem elektrod skóra badanego została odpowiednio przygotowana. Usunięto owłosienie, odkażono i wysuszono skórę. Czujniki do ciała przyklejono dwustronną taśmą klejącą, natomiast całość wraz z elektrodami obwiązano pasami firmy Noraxon, dołączonymi do zestawu. Łącznie rozmieszczono 7 czujników dla każdego badanego mięśnia (ryc. 6. i 7.).

Ryc. 6. Rozlokowanie elektrod na kończynie kopiącej: mięsień prosty uda, obszerny boczny, piszczelowy przedni i płaszczkowaty

Ryc. 7. Mięśnie brzuchaty łydki przyśrodkowy i boczny oraz dwugłowy uda

2.2. System czujników inercyjnych – IMU

Do pomiaru kątów w stawach i ruchu ręki trzymającej tarczę został użyty bezprzewodowy system czujników inercyjnych firmy Noraxon typ Mymotion składający się z 5 czujników IMU z częstotliwością próbkowania 200 Hz (ryc. 8.). Obróbka i analiza sygnału została przeprowadzona w oprogramowaniu myoResearch 3.16. Cztery czujniki inercyjne zostały przymocowane do ciała badanego za pomocą pasów firmy Noraxon, natomiast jeden znalazł się na nadgarstku badacza trzymającego tarczę.

Ryc. 8. Czujnik inercyjny IMU

Ryc. 9. Czujnik IMU na ręce badacza trzymającego tarczę

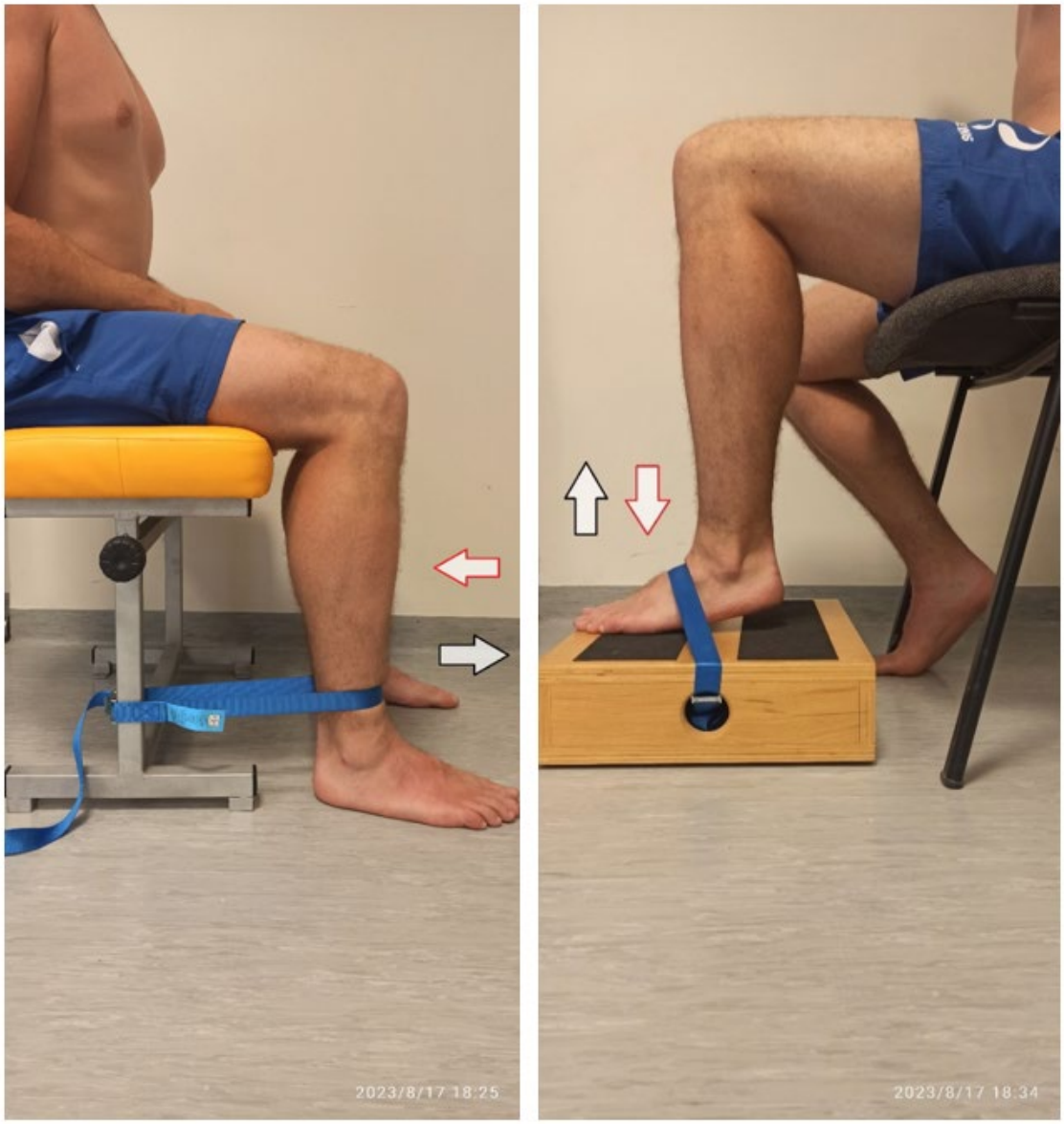
Ryc. 10. Rozlokowanie czujników IMU na kończynie kopiącej. Idąc od góry segment uda, podudzia i stopy oraz miednica

2.3. Aparat do analizy składu ciała – Seca

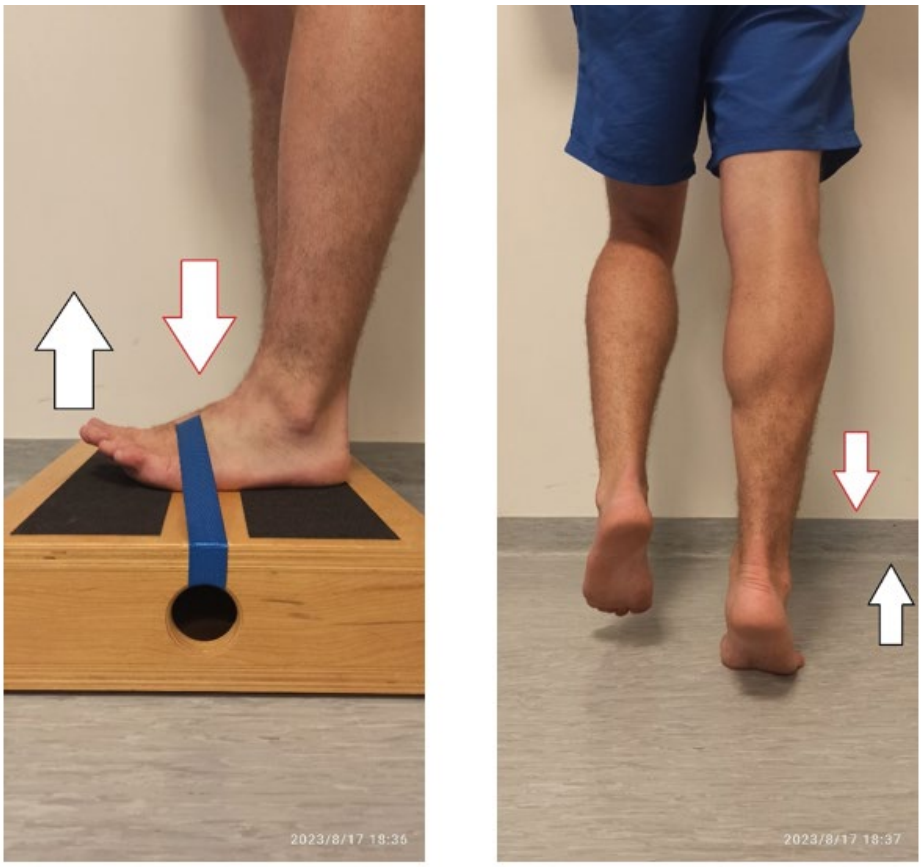
Do określenia BMI (body mass index) użyto aparatu Seca 515 mBCA z oprogramowaniem Seca analytics 115 oraz wzrostomierza seca 285.

3. Protokół badawczy

Przed właściwym badaniem określono MVC (ang. *maximum voluntary contraction* – maksymalny dowolny skurcz) dla każdego badanego mięśnia. Badany wykonywał ruch przeciwko oporowi i utrzymywał pozycję przez 3 sekundy, po czym następowała chwila przerwy i ponownie 3 sekundy napięcia. Do badań wybrano następujące mięśnie: prosty uda, obszerny boczny, dwugłowy uda, brzuchaty łydki przyśrodkowy, brzuchaty łydki boczny, płaszczkowaty, piszczelowy przedni. Pozycje testów dla MVC dla kończyny dolnej przedstawiono poniżej.



Ryc. 11. Pozycja MVC dla mięśnia prostego uda i obszernego bocznego oraz płaszczkowatego łydki. Strzałka czerwona – opór; strzałka czarna – działanie przeciwko oporowi



Ryc. 12. Pozycja MVC dla mięśnia piszczelowego przedniego i brzuchatego łydki przyśrodkowego i bocznego. Strzałka czerwona – opór; strzałka czarna – działanie przeciwko oporowi

Ryc. 13. Pozycja MVC dla mięśnia dwugłowego uda. Strzałka czerwona – opór; strzałka czarna – działanie przeciwko oporowi

Każdy badany został poproszony o wykonanie trzech kopnięć jedno po drugim w trzech warunkach: przed rozgrzewką, po rozgrzewce i po „walce z cieniem". W każdym z warunków badany kopał trzy razy w powietrze i trzy razy na tarczę. Celem ataku był chudan, czyli środkowa część ciała powyżej pasa, aż do szyi. Podczas kopnięcia na tarczę badany kopał w tarczę trzymaną przez badacza, natomiast sygnałem do wykonania akcji był ruch tarczy. Dzięki takiemu działaniu określono czas reakcji. Wyniki trzech kopnięć zostały uśrednione w taki sposób, że każdy badany miał jeden wynik przed rozgrzewką - P1 i T1, po rozgrzewce - P2 i T2 i po „walce z cieniem" – P3 i T3.

Ryc. 14. Protokół całościowej procedury badawczej

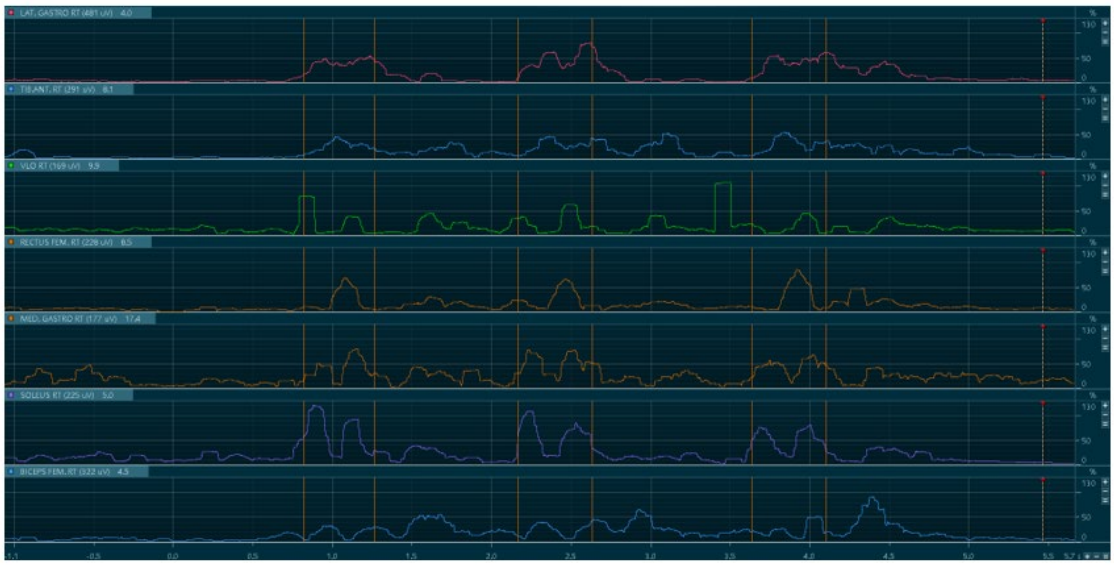
4. Analizowane zmiennne

- **RT (czas reakcji)** – czas, jaki upłynął od momentu pojawienia się sygnału z akcelerometra do czasu pierwszej reakcji na dany bodziec, zmierzonej przy pomocy pierwszego obrotu stopy.
- **MT (czas ruchu)** – całkowity czas ruchu, a więc czas upływający od momentu zapoczątkowania ruchu, czyli pierwszego obrotu stopy do maksymalnego wyprostu kolana.
- **%MVC (procent maksymalnego dowolnego skurcz,** ang. *percentage of maximal voluntary contraction*) – procent aktywności poszczególnych mięśni na przestrzeni całego ruchu.

- **Zakres ruchu stawów (kąt)** – staw biodrowy i skokowy w płaszczyznach strzałkowej, czołowej i poprzecznej oraz staw kolanowy w płaszczyźnie strzałkowej i poprzecznej.

5. Analiza sygnału EMG

Sygnał EMG został przefiltrowany filtrem dolnoprzepustowym o częstotliwości 500 Hz, a następnie wygładzony algorytmem RMS w oknie czasowym 100 ms. Częstotliwość próbkowania wynosiła 3000 Hz. Sygnał został znormalizowany do MVC.



Ryc. 15. Przefiltrowany sygnał EMG badanych mięśni podczas trzech kopnięć w powietrze

6. Analiza sygnału IMU

Do określenia czasu reakcji podczas kopnięcia na tarczę użyto akcelerometra umieszczonego na nadgarstku badacza. Badany wykonywał kopnięcie w momencie ruchu tarczy, czyli prowokującego przesunięcia tarczy ku przodowi. Od pierwszego sygnału z akcelerometru na nadgarstku do pierwszego ruchu stopy badanego określono czas reakcji. Czas ruchu wyznaczono od początku ruchu stopy do maksymalnego wyprostu stawu kolanowego, w momencie wyraźnej zmiany sygnału. Do określenia wartości kątowych użyto czterech czujników inercyjnych zlokalizowanych na miednicy, udzie, podudziu i stopie. Podczas kopnięcia określono kąty pozycji wyjściowej i końcowej dla stawu biodrowego (zgięcie – wyprost, odwiedzenie – przywiedzenie, rotację wewnętrzną – zewnętrzną), kolanowego (zgięcie – wyprost, odwiedzenie –

przywiedzenie, rotację wewnętrzną -zewnętrzną), stopy (zgięcie podeszwowe – grzbietowe, odwiedzenie – przywiedzenie, inwersję – ewersję)

7. Analiza statystyczna

Do analizy statystycznej użyto analizy wariancji ANOVA (analysis of variance) z powtarzanymi pomiarami, gdzie czynnikami powtarzanymi był P-K (początek – koniec ruchu), warunki (P1, P2, P3, T1, T2, T3) oraz czynnik Grupa. Porównania między grupami w poszczególnych warunkach powtarzanych pomiarów wykonano za pomocą post-hoc Tukey'a. Założenie normalności rozkładu zostało sprawdzone przy pomocy analizy wykresu Q-Q, założenie jednorodności wariancji wykonano testem Levene'a, natomiast sferyczność została sprawdzona przy pomocą testu Mauchly's. W przypadku niespełnienia warunku sferyczności zastosowano poprawkę Greenhouse-Geeiser. Poziom istotności ustalono $\alpha = 0,05$. Analiza została wykonano za pomocą programu Jamovi 2.3.24.0.

IV. Prezentacja wyników

1. Ocena czasu ruchu i wartości kątowych kopnięcia mae-geri w powietrze

Analizę kopnięć mae-geri przeprowadzono u obu grup (zaawansowana [N = 13] vs średniozaawansowana [N = 15]). Wszyscy uczestnicy badania wykonywali po trzy kopnięcia w powietrze (P) jak i na tarczę (T) w trzech warunkach (przed rozgrzewką – P1 i T1; po rozgrzewce – P2 i T2; po „walce z cieniem" – P3 i T3). Szczegółową charakterystykę wyżej wymienionych grup przedstawiono w rozdziale Materiał i Metody.

Tabela 2.

Czas ruchu w trzech warunkach

Grupa / **Czas ruchu [śr ± SD]**	**Średniozaawansowani [N = 15]**	**Zaawansowani [N = 13]**
Czas ruchu P1 [s]	0,61 ± 0,07	0,64 ± 0,07
Czas ruchu P2 [s]	0,58 ± 0,04	0,60 ± 0,07
Czas ruchu P3 [s]	0,59 ± 0,05	0,60 ± 0,10

P1 – przed rozgrzewką; P2 – po rozgrzewce; P3 "po walce z cieniem"; N – liczebność grup; SD – odchylenie standardowe; śr – średnia

W tabeli 2 przedstawiono czas ruchu kopnięcia mae-geri począwszy od ruchu stopy do maksymalnego wyprostu stawu kolanowego. Po rozgrzewce zaobserwowano skrócenie czasu ruchu u obu grup. Po „walce z cieniem" u grupy średniozaawansowanej zaobserwowano wydłużenie czasu ruchu, natomiast u zaawansowanych pozostał on bez zmian. We wszystkich trzech próbach, krótszy czas ruchu uzyskali zawodnicy średniozaawansowani. Istotność statystyczną uzyskano w grupie zaawansowanej pomiędzy czasem ruchu P1 a P2 **(p = 0,035)**

Tabela 3.

Wyniki zakresów kątów w stawach przed rozgrzewką

Grupy / Wyniki [śr ± SD]	Średniozaawansowani [N = 15]		Zaawansowani [N = 13]	
Pozycja	Początek ruchu	Koniec ruchu	Początek ruchu	Koniec ruchu
Zgięcie stawu biodrowego [°]	-7,82 ± 6,04	69,31 ± 5,77	-7,09 ± 9,66	75,03 ± 13,11
Odwiedzenie stawu biodrowego [°]	3,48 ± 7,65	17,84 ± 10,27	4,48 ± 5,63	25,38 ± 11,35
Rotacja zewnętrza stawu biodrowego [°]	6,84 ± 9,62	-20,65 ± 8,18	4,10 ± 10,96	-24,72 ± 13,03
Zgięcie stawu kolanowego [°]	12,84 ± 9,96	19,30 ± 9,07	8,15 ± 11,65	21,77 ± 11,00
Rotacja zewnętrzna stawu kolanowego [°]	0,92 ± 5,67	10,34 ± 3,36	-3,92 ± 8,07	4,74 ± 11,99
Odwiedzenie stawu kolanowego [°]	-0,90 ± 3,62	-0,18 ± 7,94	0,32 ± 4,88	0,08 ± 9,04
Zgięcie grzbietowe stopy [°]	20,31 ± 4,66	-28,63 ± 11,36	14,79 ± 5,51	-40,65 ± 13,84
Ewersja stopy [°]	2,54 ± 4,58	30,32 ± 11,71	2,57 ± 4,44	20,33 ± 13,43
Odwiedzenie stopy [°]	-5,56 ± 3,63	-7,96 ± 10,23	3,13 ± 10,95	-5,46 ± 13,92

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy

W tabeli 3 przedstawiono uśrednione wyniki i odchylenia standardowe kopnięcia mae-geri w powietrze przed rozgrzewką u grupy średniozaawansowanej i zaawansowanej. Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupami. Zaobserwowano, że w pozycji końcowej staw biodrowy w grupie zaawansowanej jest zgięty, odwiedziony i zrotowany do wewnątrz w większym zakresie niż u grupy średniozaawansowanej. Staw kolanowy w grupie zaawansowanej wykazał większy zakres zgięcia niż u pozostałych. W obu grupach zaobserwowano taki sam wzorzec stopy w końcowej fazie ruchu:

zgięcie podeszwowe – ewersja – przywiedzenie z tą różnicą, że podczas pozycji wyjściowej kopnięcia zaawansowani ustawili stopę w odwiedzeniu.

Tabela 4.

Wyniki zakresów kątów w stawach po rozgrzewce

Grupy / **Wyniki [śr ± SD]**	**Średniozaawansowani [N = 15]**		**Zaawansowani [N = 13]**	
Pozycja	Początek ruchu	Koniec ruchu	Początek ruchu	Koniec ruchu
Zgięcie stawu biodrowego [°]	-10,81 ± 16,23	67,48 ± 10,43	-7,85 ± 12,25	71,85 ± 15,73
Odwiedzenie stawu biodrowego [°]	4,46 ± 6,28	13,44 ± 8,02	4,41 ± 5,24	19,01 ± 10,15
Rotacja zewnętrza stawu biodrowego [°]	1,77 ± 7,53	-17,19 ± 8,67	0,07 ± 12,36	-18,55 ± 11,23
Zgięcie stawu kolanowego [°]	15,91 ± 14,26	19,38 ± 9,59	10,89 ± 12,80	23,36 ± 11,21
Rotacja zewnętrzna stawu kolanowego [°]	2,75 ± 5,12	6,68 ± 4,97	-2,85 ± 11,66	-0,21 ± 11,28
Odwiedzenie stawu kolanowego [°]	-1,88 ± 4,24	3,49 ± 6,91	0,82 ± 6,92	1,56 ± 10,49
Zgięcie grzbietowe stopy [°]	20,87 ± 6,29	-33,86 ± 17,82	15,59 ± 6,53	-41,80 ± 13,27
Ewersja stopy [°]	2,88±3,42	25,49 ± 14,81	7,40 ± 14,93	10,15 ± 34,84
Odwiedzenie stopy [°]	-2,21 ± 18,40	-6,53 ± 11,51	9,24 ± 11,51	-2,01 ± 22,07

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy

W tabeli 4 przedstawiono uśrednione wyniki i odchylenia standardowe kopnięcia mae-geri w powietrze po rozgrzewce u grupy średniozaawansowanej i zaawansowanej. Staw biodrowy u grupy zaawansowanej został ustawiony we wzorzec zgięcie – odwiedzenie - rotacja wewnętrzna w większym zakresie niż w grupie średniozaawansowanej podobnie jak to miało miejsce w kopnięciu przed rozgrzewką. Ponownie zaobserwowano większy zakres zgięcia stawu kolanowego w fazie końcowej u grupy zaawansowa-

nej. Wzorzec stopy u obu grup pozostał ten sam jak przy kopnięciu przed rozgrzewką zgięcie podeszwowe – przywiedzenie i ewersja. Grupa zaawansowana wykazuje większe zgięcie podeszwowe, natomiast średniozaawansowani większą ewersję, co powtórzyło się w kopnięciu po rozgrzewce. Nie wykazano żadnych różnic statystycznych pomiędzy grupami.

Tabela 5.

Wyniki zakresów kątów w stawach po „walce z cieniem"

Grupy / **Wyniki [śr ± SD]**	**Średniozaawansowani [N = 15]**		**Zaawansowani [N = 13]**	
Pozycja	Początek ruchu	Koniec ruchu	Początek ruchu	Koniec ruchu
Zgięcie stawu biodrowego [°]	-7,45 ± 11,43	69,41 ± 13,01	-8,80 ± 10,65	70,60 ± 18,17
Odwiedzenie stawu biodrowego [°]	7,52 ± 6,81	12,09 ± 11,90	4,37 ± 3,44	24,48 ± 12,90
Rotacja zewnętrza stawu biodrowego [°]	-0,11 ± 12,09	-21,05 ± 9,74	3,96 ± 10,26	-21,32 ± 13,22
Zgięcie stawu kolanowego [°]	22,08 ± 11,57	22,45 ± 13,57	11,61 ± 10,26	24,36 ± 8,58
Rotacja zewnętrzna stawu kolanowego [°]	0,06 ± 8,01	10,74 ± 8,04	-6,53 ± 8,28	1,16 ± 10,73
Odwiedzenie stawu kolanowego [°]	-3,34 ± 7,15	-3,31 ± 8,06	-0,01 ± 4,03	1,92 ± 11,66
Zgięcie grzbietowe stopy [°]	22,05 ± 8,16	-38,11 ± 15,64	20,12 ± 14,89	-36,70 ± 10,33
Ewersja stopy [°]	1,94 ±6,91	22,08±23,06	8,66±18,23	20,25±13,56
Odwiedzenie stopy [°]	-0,76 ± 21,03	-7,62 ± 12,14	6,02 ± 15,55	-8,30 ± 16,75

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy

W tabeli 5 przedstawiono uśrednione wyniki i odchylenia standardowe kopnięcia mae-geri w powietrze po „walce z cieniem" u grupy średniozaawansowanej i zaawansowanej. W stawie biodrowym zaobserwowano powielenie wzorca zgięcie – odwiedze-

nie – rotacja wewnętrzna w obu grupach, jednak u zaawansowanych staw biodrowy był wyraźnie bardziej odwiedziony niż w pozostałej grupie. Zaawansowani we wszystkich trzech pozycjach ponownie ustawili staw pod większym kątem w pozycji końcowej w porównaniu z drugą grupą. Staw kolanowy u zaawansowanych ponownie został zgięty w większym zakresie w trakcie wykończenia ruchu niż u średniozaawansowanych. Stopa u obu grup w podobnym zakresie ustawiona została w pozycji zgięcia podeszwowego – ewersji i przywiedzenia. Żadne pomiary kątowe nie wykazały istotnie statystycznych różnic pomiędzy grupami.

2. Ocena czasu ruchu i wartości kątowych kopnięcia mae-geri w tarczę

Tabela 6.

Czas reakcji i czas ruchu w trzech warunkach

Grupa / Czas ruchu [śr ± SD]	Średniozaawansowani [N=15]	Zaawansowani [N=13]
Czas reakcji T1 [s]	0,21 ± 0,08	0,26 ± 0,21
Czas ruchu T1 [s]	0,59 ± 0,05	0,56 ± 0,14
Czas reakcji T2 [s]	0,21 ± 0,10	0,22 ± 0,09
Czas ruchu T2 [s]	0,58 ± 0,05	0,58 ± 0,06
Czas reakcji T3 [s]	0,21 ± 0,09	0,19 ± 0,10
Czas ruchu T3 [s]	0,56 ± 0,06	0,56 ± 0,07

P1 – przed rozgrzewką; P2 – po rozgrzewce; P3 "po walce z cieniem"; N – liczebność grup; SD – odchylenie standardowe; śr – średnia

W tabeli 6 przedstawiono czas reakcji i czas ruchu kopnięcia mae-geri na tarczę począwszy od ruchu stopy do maksymalnego wyprostu stawu kolanowego. We wszystkich trzech próbach (P1, P2, P3) zawodnicy średniozaawansowani reagowali na bodziec w tym samym czasie. Czas reakcji zawodników średniozaawansowanych w P1 okazał się krótszy, natomiast samo wykonanie ruchu dłuższe niż grupie zaawansowanej. Po rozgrzewce zawodnicy zaawansowani skrócili znacznie czas reakcji, a wykonanie kopnięcia w obu grupach zostało wykonanie w tym samym czasie. Po „walce z cieniem" zaobserwowano skrócenie czasu reakcji u zawodników zaawansowanych oraz skrócenie czasu ruchu w obu grupach. Pomimo rożnych czasów reakcji w obu grupach, czas ruchu

u zaawansowanych był lepszy bądź taki sam jak u średniozaawansowanych. Nie odnotowano istotności statystycznej.

Tabela 7.

Wyniki zakresów kątów w stawach przed rozgrzewką

Grupy / **Wyniki [śr ± SD]**	**Średniozaawansowani [N = 15]**		**Zaawansowani [N = 13]**	
Pozycja	Początek ruchu	Koniec ruchu	Początek ruchu	Koniec ruchu
Zgięcie stawu biodrowego [°]	-6,03 ± 5,50	54,90 ± 9,39	-6,20 ± 13,79	48,36 ± 17,86
Odwiedzenie stawu biodrowego [°]	5,13 ± 6,85	16,59 ± 13,73	6,16 ± 3,99	22,35 ± 8,94
Rotacja zewnętrza stawu biodrowego [°]	2,45 ± 9,86	-13,37 ± 6,60	-1,88 ± 9,85	-7,60 ± 10,28
Zgięcie stawu kolanowego [°]	13,95 ± 10,06	20,80 ± 17,69	12,91 ± 11,16	14,05 ± 10,57
Rotacja zewnętrzna stawu kolanowego [°]	0,71± 9,40	7,29 ± 6,86	-1,85 ± 11,34	-0,26 ± 10,67
Odwiedzenie stawu kolanowego [°]	-1,82 ± 4,18	3,98 ± 9,57	-1,86 ± 5,44	8,68 ± 7,10
Zgięcie grzbietowe stopy [°]	19,47 ± 5,36	-19,22 ± 14,77	19,20 ± 5,02	-24,92 ± 17,29
Ewersja stopy [°]	3,52 ±5 ,72	22,00 ± 9,76	3,02 ± 5,95	20,69 ± 13,55
Odwiedzenie stopy [°]	1,61 ± 11,66	-2,47 ± 10,04	2,78 ± 13,71	-5,93 ± 12,18

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy

W tabeli 7 przedstawiono uśrednione wyniki i odchylenia standardowe kopnięcia mae-geri w tarczę przed rozgrzewką u grupy średniozaawansowanej i zaawansowanej. Zaobserwowano większy zakres zgięcia stawu biodrowego u średniozaawansowanych w końcowej fazie ruchu niż u grupy zaawansowanej. Z kolei u zaawansowanych przeważało odwiedzenie biodra i mniejsza rotacja wewnętrzna w porównaniu z pozostałymi. Staw kolanowy w grupie średniozaawansowanej był bardziej zgięty podczas wykonania

kopnięcia i wykazał znaczną rotację zewnętrzną w odróżnieniu od grupy zaawansowanej, gdzie przedstawiono pozycję bliską 0°. U zaawansowanych zaobserwowano większe odwiedzenie stawu kolanowego pomiędzy segmentem uda i podudzia w porównaniu z drugą grupą. Stopa w obu grupach została ustawiona w zgięciu podeszwowym, ewersji i przywiedzeniu. Nie odnotowano różnic statystycznych pomiędzy grupami.

Tabela 8.

Wyniki zakresów kątów w stawach po rozgrzewce

Grupy / **Wyniki [śr ± SD]**	**Średniozaawansowani [N = 15]**		**Zaawansowani [N = 13]**	
Pozycja	Początek ruchu	Koniec ruchu	Początek ruchu	Koniec ruchu
Zgięcie stawu biodrowego [°]	-9,62 ± 12,01	52,50 ± 14,58	-7,48 ± 15,51	55,05 ± 22,65
Odwiedzenie stawu biodrowego [°]	3,90 ± 5,83	12,82 ± 11,77	3,01 ± 4,84	16,29 ± 16,82
Rotacja zewnętrza stawu biodrowego [°]	1,49 ±7,62	-11,75 ± 10,11	-4,06 ± 16,14	-8,80 ± 12,87
Zgięcie stawu kolanowego [°]	14,12 ± 14,50	14,37 ± 16,06	15,95 ± 13,04	16,34 ± 16,44
Rotacja zewnętrzna stawu kolanowego [°]	3,04 ± 5,02	6,93 ± 9,48	-0,27 ± 16,32	0,15 ± 11,00
Odwiedzenie stawu kolanowego [°]	-0,72 ± 4,45	5,88 ± 7,38	-1,65 ± 7,25	10,36 ± 7,77
Zgięcie grzbietowe stopy [°]	18,55 ± 5,61	-22,12 ± 14,62	19,04 ± 7,30	-32,13 ± 9,96
Ewersja stopy [°]	3,67 ± 5,46	16,26 ± 10,71	5,41 ± 13,35	19,59 ± 16,52
Odwiedzenie stopy [°]	-3,50 ± 13,79	-0,67 ± 14,65	9,64 ± 19,85	-0,76 ± 13,68

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy

W tabeli 8 przedstawiono uśrednione wyniki i odchylenia standardowe kopnięcia mae-geri w tarczę po rozgrzewce u grupy średniozaawansowanej i zaawansowanej. W obu grupach staw biodrowy został ustawiony w zgięciu odwiedzeniu i rotacji we-

wnętrznej. Ponownie w grupie średniozaawansowanej została przedstawiona rotacja zewnętrzna stawu kolanowego przy neutralnym ustawieniu w drugiej grupie. Natomiast grupa zaawansowana ponownie wykonała większe odwiedzenie stawu kolanowego w porównaniu z grupą średniozaawansowaną. Wzorzec stopy pozostał niezmieniony (zgięcie podeszwowe – ewersja – przywiedzenie) z tą jednak różnicą, że zdecydowanie większe zgięcie podeszwowe przedstawiła grupa zaawansowana.

Tabela 9.

Wyniki zakresów kątów w stawach po „walce z cieniem”

Grupy / **Wyniki [śr ± SD]**	**Średniozaawansowani [N = 15]**		**Zaawansowani [N = 13]**	
Pozycja	Początek ruchu	Koniec ruchu	Początek ruchu	Koniec ruchu
Zgięcie stawu biodrowego [°]	-6,94 ± 11,88	54,82 ± 13,07	-5,44 ± 12,24	50,99 ± 21,59
Odwiedzenie stawu biodrowego [°]	6,81 ± 6,36	11,94 ± 14,26	3,79 ± 5,10	26,61 ± 16,46
Rotacja zewnętrza stawu biodrowego [°]	-3,20 ± 15,18	-15,28 ± 7,39	3,77 ± 12,01	-6,75 ± 12,78
Zgięcie stawu kolanowego [°]	21,45 ± 12,56	24,27 ± 17,56	17,82 ± 12,39	10,78 ± 18,34
Rotacja zewnętrzna stawu kolanowego [°]	5,19 ± 7,15	11,52 ± 11,15	-7,16 ± 14,11	-0,09 ± 11,38
Odwiedzenie stawu kolanowego [°]	-5,21 ± 8,17	4,99 ± 7,41	-0,68 ± 5,79	5,22 ± 14,26
Zgięcie grzbietowe stopy [°]	22,89 ± 8,39	-20,67 ± 15,62	20,39 ± 7,30	-28,69 ± 11,20
Ewersja stopy [°]	5,45 ± 7,33	17,53 ± 12,37	2,99 ± 9,63	16,30 ± 20,76
Odwiedzenie stopy [°]	-0,56 ± 15,20	-1,94 ± 7,87	6,88 ± 18,48	3,13 ± 16,54

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy

W tabeli 9 przedstawiono uśrednione wyniki i odchylenia standardowe kopnięcia mae-geri w tarczę po „walce z cieniem" u grupy średniozaawansowanej i zaawansowanej. W grupie zaawansowanej zaobserwowano zdecydowanie większe odwiedzenie i mniejszą rotację wewnętrzną stawu biodrowego w porównaniu z grupą średniozaawansowaną. Wzorzec końcowy ruchu pozostał bez zmian (zgięcie – odwiedzenie – rotacja wewnętrzna). Staw kolanowy u grupy zaawansowanej był bardziej wyprostowany podczas wykończenia kopnięcia niż w drugiej grupie. Ponownie grupa średniozaawansowana wykonała rotację zewnętrzną stawu kolanowego przy prawie 0° ustawieniu kolana w grupie zaawansowanej. Stopa u zawodników zaawansowanych ponownie wykazała większe zgięcie podeszwowe niż w drugiej grupie. Nie wykazano różnic istotnych statystycznie.

3. Wartości % MVC wybranych mięśni kopnięcia mae-geri w powietrze u grupy zaawansowanej i średniozaawansowanej

Tabela 10.

Wyniki % MVC wybranych mięśni przed rozgrzewką

Grupy / **Mięsień [% MVC] [śr ± SD]**	**Średniozaawansowani [N = 15]**	**Zaawansowani [N = 13]**
Dwugłowy uda	24,28 ± 12,25	21,64 ±7,68
Brzuchaty łydki przyśrodkowy	47,56 ±21,24	39,20 ±15,10
Płaszczkowaty	48,92 ± 8,07	35,94 ± 12,37
Prosty uda	32,48 ± 22,73	38,11 ± 12,89
Obszerny boczny	20,86 ± 8,29	20,26 ± 18,87
Piszczelowy przedni	25,63 ± 14,21	25,62 ± 15,28
Brzuchaty łydki boczny	48,66 ± 13,89	48,61 ± 23,96

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy; %MVC – procent maksymalnego dowolnego skurczu; *p* – istotność statystyczna

W tabeli 10 przedstawiono procentowy udział MVC poszczególnych mięśni podczas wykonania kopnięcia mae-geri przed rozgrzewką. Grupa średniozaawansowana poza jednym mięśniem (prosty uda) wykazała większe wartości % MVC w porównaniu z grupą zaawansowaną, tym samym bardziej angażowała wybraną grupę mięśniową do wykonania kopnięcia mae-geri w powietrze. W obu grupach najbardziej zaangażowa-

nymi mięśniami były mięśnie brzuchate łydki, a najmniej obszerny boczny. Grupa średniozaawansowana zdecydowanie bardziej wykorzystywała mięsień płaszczkowaty od pozostałych co wykazało istotność statystyczną na poziomie $p = 0,042$.

Tabela 11.

Wyniki % MVC wybranych mięśni po rozgrzewce

Grupy / **Mięsień [%MVC] [śr ± SD]**	**Średniozaawansowani [N = 15]**	**Zaawansowani [N = 13]**
Dwugłowy uda	31,13 ± 15,14	30,63 ± 13,30
Brzuchaty łydki przyśrodkowy	56,26 ± 1 3,10	58,23 ± 19,07
Płaszczkowaty	61,72 ± 22,13	48,69 ± 15,09
Prosty uda	30,96 ± 14,13	40,30 ± 18,96
Obszerny boczny	21,22 ± 9,06	24,42 ± 26,01
Piszczelowy przedni	29,70 ± 15,45	35,58 ± 18,77
Brzuchaty łydki boczny	59,37 ± 16,96	61,32 ±23,72

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy; %MVC – procent maksymalnego dowolnego skurczu

Tabela 11 przedstawia procentowy udział MVC poszczególnych mięśni podczas wykonania kopnięcia mae-geri po rozgrzewce. W obu grupach mięsień obszerny boczny był najmniej angażowanym mięśniem na przestrzeni całego ruchu, natomiast najbardziej wykorzystywany ponownie okazał się mięsień trójgłowy łydki. Zaobserwowano, że mięsień płaszczkowaty jest najbardziej angażowanym mięśniem w grupie średniozaawansowanej, natomiast u zaawansowanych mięsień brzuchaty boczny. Po rozgrzewce odnotowano wzrost %MVC we wszystkich mięśniach obu grup w wyjątkiem prostego uda w grupie średniozaawansowanej. Nie odnotowano istotności statystycznej pomiędzy grupami.

Tabela 12.

Wyniki % MVC wybranych mięśni po „walce z cieniem”

Grupy / Mięsień [%MVC] [śr ± SD]	Średniozaawansowani [N = 15]	Zaawansowani [N = 13]
Dwugłowy uda	28,30 ± 13,24	28,09 ± 11,39
Brzuchaty łydki przyśrodkowy	51,19 ± 24,01	50,62 ± 14,62
Płaszczkowaty	55,33 ± 18,75	44,13 ± 15,20
Prosty uda	33,53 ± 17,93	35,24 ± 15,23
Obszerny boczny	22,20 ± 11,29	23,40 ± 19,24
Piszczelowy przedni	30,06 ± 19,45	33,50 ± 18,18
Brzuchaty łydki boczny	52,82 ± 22,50	58,74 ± 26,50

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy; %MVC – procent maksymalnego dowolnego skurczu

W tabeli 12 przedstawiono procentowy udział MVC poszczególnych mięśni podczas wykonania kopnięcia mae-geri po „walce z cieniem”. Podobnie jak we wcześniejszych stanach zmęczeniowych największy udział procentowy aktywności mięśni uzyskała tylna grupa podudzia – mięsień trójgłowy łydki. Ponownie okazało się, że mięsień płaszczkowaty jest najbardziej wykorzystywany w grupie średniozaawansowanej, natomiast brzuchaty boczny w grupie zaawansowanej. Najmniej zaangażowany okazał się ponownie mięsień obszerny boczny. Nie odnotowano istotnie statystycznie różnic pomiędzy obiema grupami.

4. Wartości % MVC wybranych mięśni kopnięcia mae-geri w tarczę u grupy zaawansowanej i średniozaawansowanej

Tabela 13.

Wyniki % MVC wybranych mięśni przed rozgrzewką

Grupy / **Mięsień [%MVC] [śr ± SD]**	**Średniozaawansowani [N = 15]**	**Zaawansowani [N = 13]**
Dwugłowy uda	67,86 ± 17,86	58,73 ± 17,74
Brzuchaty łydki przyśrodkowy	80,40 ± 8,02	77,01 ± 17,04
Płaszczkowaty	82,98 ± 7,05	77,29 ± 16,95
Prosty uda	71,36 ± 8,97	69,71 ± 12,83
Obszerny boczny	68,28 ± 21,07	72,62 ± 15,15
Piszczelowy przedni	70,18 ± 12,00	72,17 ± 13,36
Brzuchaty łydki boczny	80,10 ± 7,42	78,34 ± 14,21

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy; %MVC – procent maksymalnego dowolnego skurczu

Tabela 13 przedstawia %MVC mięśni podczas kopnięcia mae-geri w tarczę przed rozgrzewką w grupie zaawansowanej i średniozaawansowanej. Zaobserwowano, że najbardziej zaangażowanym mięśniem w grupie średniozaawansowanej okazał się mięsień płaszczkowaty, natomiast u zaawansowanych ponownie był to mięsień brzuchaty boczny. Najmniej zaangażowanym mięśniem w obu grupach okazał się dwugłowy uda. Nie odnotowano istotnie statystycznych różnic pomiędzy grupami.

Tabela 14.

Wyniki % MVC wybranych mięśni po rozgrzewce

Grupy / Mięsień [%MVC] [śr ± SD]	Średniozaawansowani [N = 15]	Zaawansowani [N = 13]
Dwugłowy uda	71,49 ± 18,52	67,90 ± 13,27
Brzuchaty łydki przyśrodkowy	79,22 ± 19,86	74,65 ± 15,27
Płaszczkowaty	88,60 ± 15,54	79,95 ± 17,35
Prosty uda	65,70 ± 10,02	66,89 ± 20,92
Obszerny boczny	64,32 ± 17,64	68,48 ± 22,37
Piszczelowy przedni	70,27 ± 13,53	70,64 ± 19,99
Brzuchaty łydki boczny	83,12 ± 15,24	77,82 ± 21,27

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy; %MVC – procent maksymalnego dowolnego skurczu

Tabela 14 przedstawia %MVC mięśni podczas kopnięcia mae-geri w tarczę po rozgrzewce w grupie zaawansowanej i średniozaawansowanej. Mięśniem najbardziej zaangażowanym w obu grupach okazał się mięsień płaszczkowaty, a najmniej prostowniki stawu kolanowego: u zaawansowanych prosty uda, a u średniozaawansowanych obszerny boczny. Istotności statystycznej pomiędzy grupami nie odnotowano.

Tabela 15.

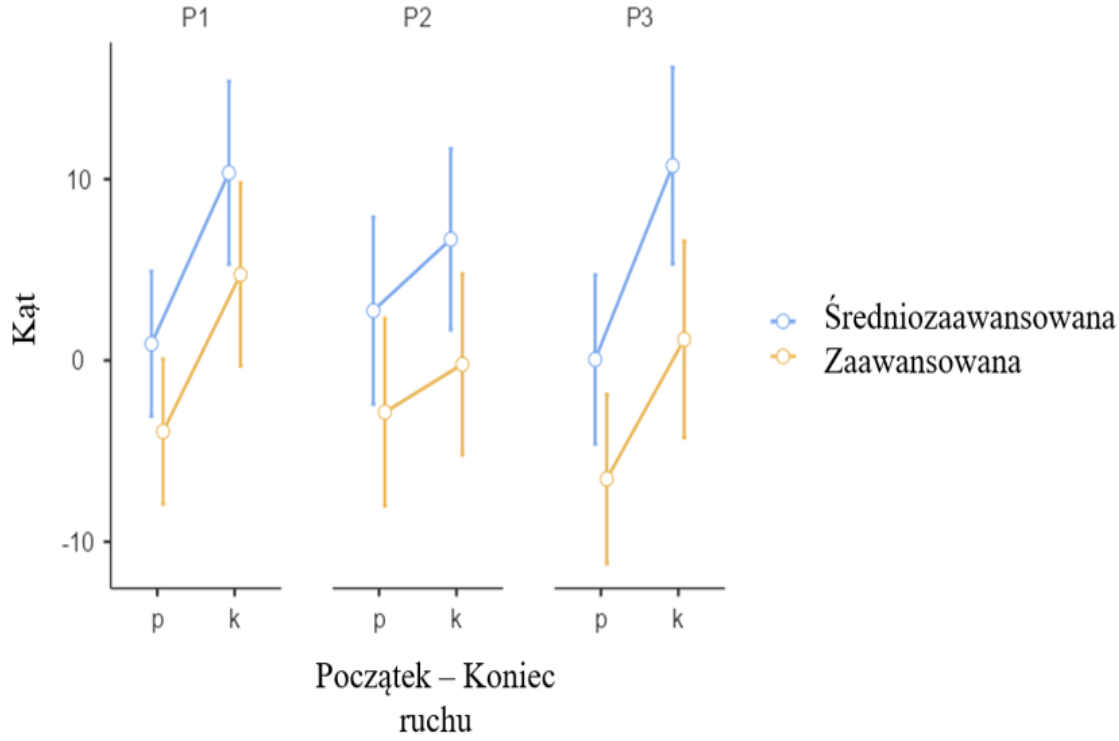
Wyniki % MVC wybranych mięśni po „walce z cieniem”

Grupy / Mięsień [%MVC] [śr ± SD]	Średniozaawansowani [N = 15]	Zaawansowani [N = 13]
Dwugłowy uda	67,62 ± 21,80	63,05 ± 21,12
Brzuchaty łydki przyśrodkowy	72,64 ± 23,31	77,83 ± 22,65
Płaszczkowaty	82,75 ± 20,55	84,36 ± 11,3
Prosty uda	61,68 ± 15,34	63,51 ± 20,13
Obszerny boczny	66,36 ± 21,09	69,06 ± 23,22
Piszczelowy przedni	65,42 ± 19,43	67,21 ± 23,47
Brzuchaty łydki boczny	71,29 ± 21,45	77,12 ± 17,03

śr – średnia; SD – odchylenie standardowe; N – liczebność grupy; %MVC – procent maksymalnego dowolnego skurczu

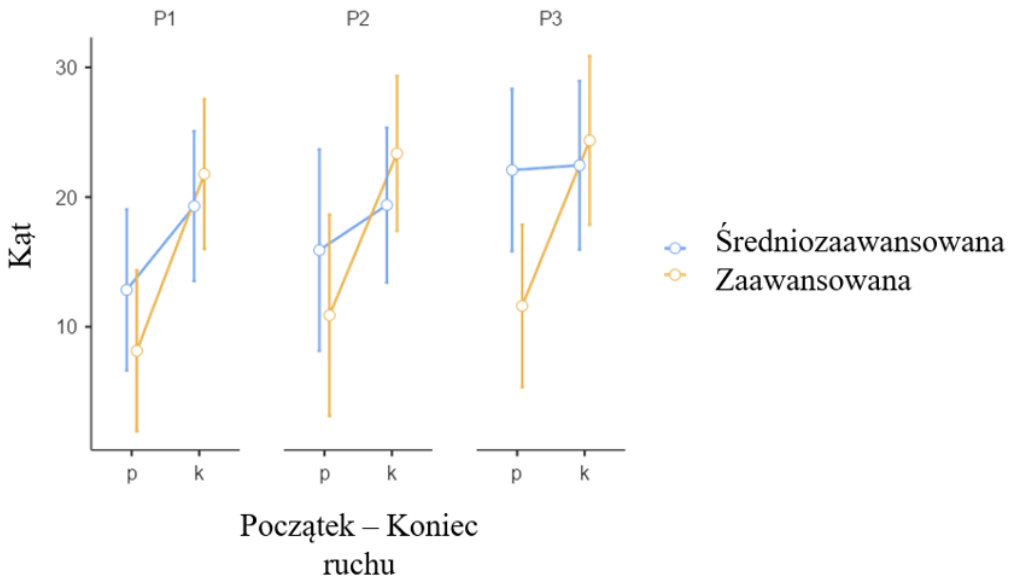
Tabela 15 przedstawia %MVC mięśni podczas kopnięcia mae-geri w tarczę po „walce z cieniem” w grupie zaawansowanej i średniozaawansowanej. Podobnie jak w poprzednich warunkach najbardziej zaangażowanym mięśniem okazał się mięsień trójgłowy łydki na czele z mięśniem płaszczkowatym. To on w obu grupach odnotował największe wartości %MVC spośród wszystkich mięśni. Najmniej aktywności wykazał w grupie średniozaawansowanej prosty uda, a w grupie zaawansowanej dwugłowy i prosty uda. Istotności statystycznej pomiędzy grupami nie odnotowano.

5. Przedstawienie istotnych statystycznie wartości kątowych oraz %MVC w obrębie danej grupy podczas kopnięcia w powietrze



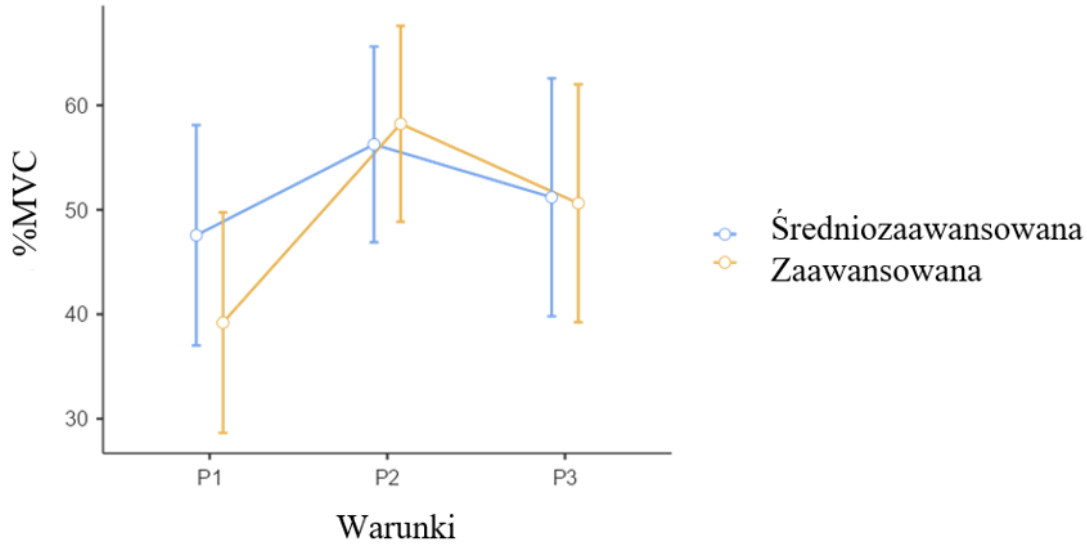
Ryc. 16. Wartości kątowe (początek – koniec) rotacji w stawie kolanowym w trzech warunkach (P1, P2, P3) podczas kopnięcia w powietrze

Rycina 16 przedstawia zestawienie wartości kątowych rotacji stawu kolanowego podczas kopnięcia w powietrze. Zaobserwowano istotność statystyczną w obrębie grupy zaawansowanej, gdzie podczas końcowej fazy kopnięcia staw kolanowy został zrotowany do zewnątrz przed rozgrzewką P1 (4,74°), a po zaaplikowanej rozgrzewce (P2) staw kolanowy został ustawiony w rotacji wewnętrznej (-0,21°). Tym samym zmienił się wzorzec ruchu dla danego stawu. Istotność statystyczna wyniosła $p = 0{,}026$.



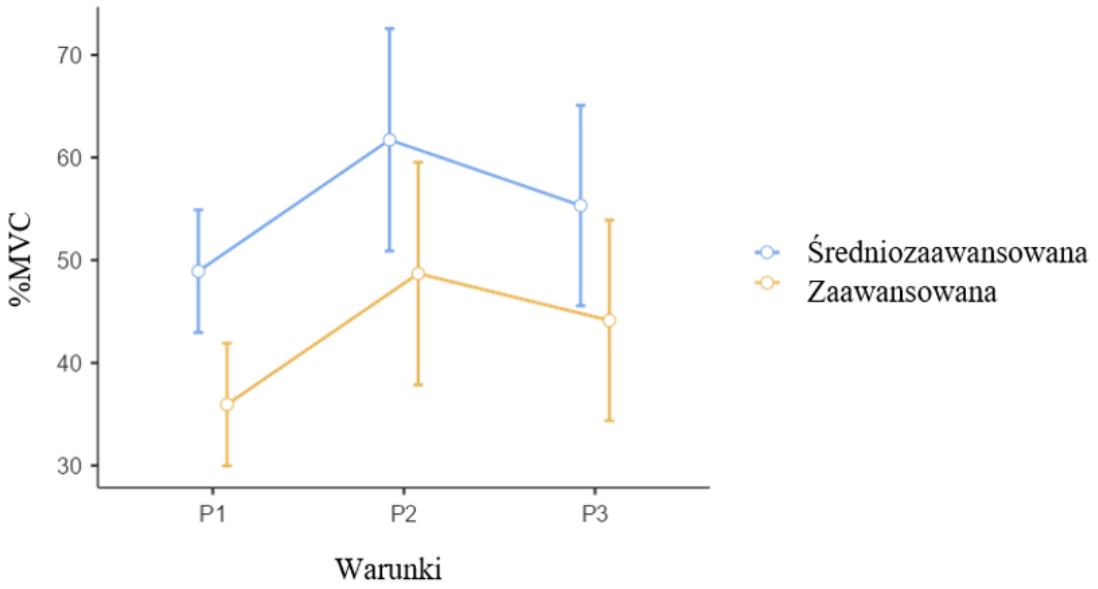
Ryc. 17. Wartości kątowe (początek – koniec) zgięcia w stawie kolanowym w trzech warunkach podczas kopnięcia w powietrze

Rycina 17 przedstawia zakres ruchu stawu kolanowego w trzech warunkach (P1, P2, P3) podczas kopnięcia w powietrze w grupie zaawansowanej i średniozaawansowanej. Zaobserwowano znaczną różnicę w zgięciu stawu kolanowego w pozycji wyjściowej u grupy średniozaawansowanej. Przed rozgrzewką (P1) staw kolanowy został zgięty pod kątem 12,84°, natomiast po „walce z cieniem" zauważono zdecydowanie większe zgięcie w pozycji wyjściowej 22,08°. Wynik ten okazał się istotny statystycznie na poziomie $p = 0{,}041$.



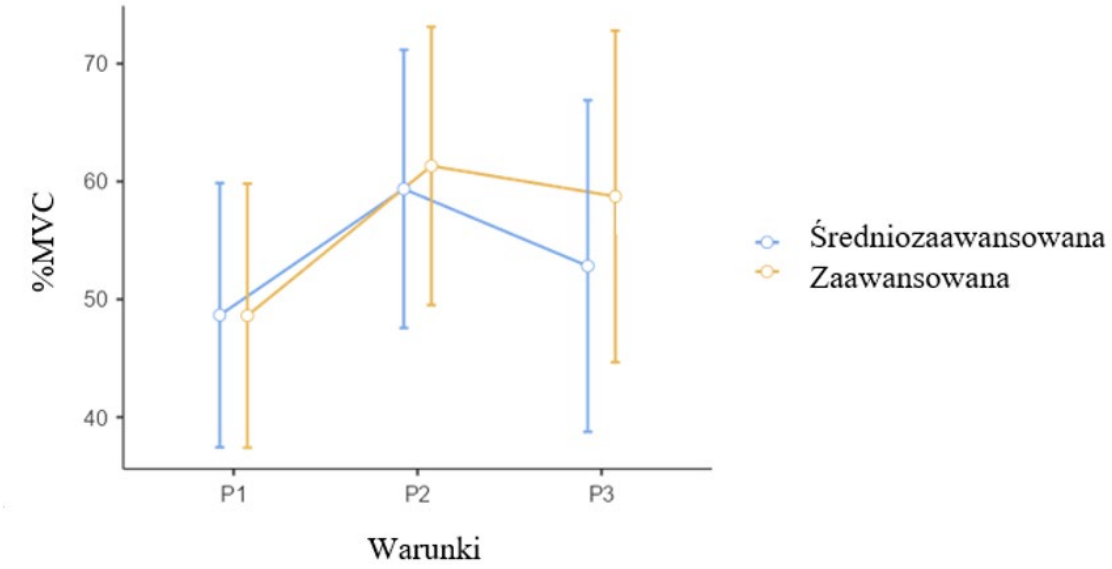
Ryc. 18. Wartość %MVC dla mięśnia brzuchatego przyśrodkowego w trzech warunkach podczas kopnięcia w powietrze

Na rycinie 18 przedstawiono wykorzystanie mięśnia brzuchatego łydki głowy przyśrodkowej podczas kopnięcia w powietrze w trzech warunkach. Zaobserwowano, że grupa zaawansowana po rozgrzewce (P2) zdecydowanie bardziej zaczęła angażować mięsień w porównaniu ze stanem przed rozgrzewką (P1) – 58,23 vs 39,20 %MVC. Wynik okazał się istotny statystycznie na poziomie ***p* = 0,016**.



Ryc. 19. Wartość %MVC dla mięśnia płaszczkowatego w trzech warunkach podczas kopnięcia w powietrze

Rycina 19 przedstawia wykorzystanie mięśnia płaszczkowatego w obu grupach podczas kopnięcia w powietrze w trzech warunkach. Z obserwacji wynika, że obie grupy po rozgrzewce zdecydowanie bardziej zaczęły wykorzystywać mięsień płaszczkowaty niż przed rozgrzewką (średniozaawansowani 48,92 vs 61,72 %MVC; zaawansowani 35,94 vs 48,69 %MVC). W grupie zaawansowanej ujawniła się istotność statystyczna pomiędzy warunkami, gdzie ***p* = 0,046**, natomiast w grupie średniozaawansowanej ***p* = 0,045**. Ponadto grupa średniozaawansowana zdecydowanie bardziej wykorzystywała mięsień płaszczkowaty od grupy zaawansowanej, co wykazało istotność statystyczną na poziomie ***p* = 0,042** (zostało to opisane w rozdziale 4.3).



Ryc. 20. Wartość %MVC dla mięśnia brzuchatego bocznego w trzech warunkach podczas kopnięcia w powietrze

Rycina 20 przedstawia wykorzystanie mięśnia brzuchatego bocznego w obu grupach podczas kopnięcia w powietrze w trzech warunkach. Podobnie jak przy mięśniu płaszczkowatym obie grupy po rozgrzewce zaczęły mocniej aktywować mięsień brzuchaty łydki, głowę boczną. Grupa średniozaawansowana w 48,66%MVC wykorzystała mięsień w podczas P1, natomiast w P2 już w 59,37%MVC. U zaawansowanych sytuacja przedstawiała się podobnie – kolejno 48,61%MVC i 61,32%MVC. Ostatni wynik okazał się istotny statystycznie na poziomie $\boldsymbol{p = 0{,}024}$.

V. Dyskusja

Dla prawidłowej oceny szkolenia karateków potrzeba trafnej i rzetelnej oceny diagnozy stanu funkcjonalnego i psychomotorycznego jednostki na różnych etapach treningu. Takie działanie pozwala na optymalne zaprogramowanie kolejnych etapów treningu oraz rozwoju umiejętności motorycznych zgodnie z celem wyznaczonym na każdym etapie szkolenia (Przybylski i wsp. 2021).

Działania zawodników, zajmujących się sztukami walki, opierają się głównie na zwiększaniu siły, szybkości i doskonaleniu techniki trafienia przeciwnika. Do oceny tych elementów badacze zaczęli wykorzystywać narzędzia biomechaniczne oraz wskaźniki dynamiczne i kinematyczne, które okazały się kluczowe w ocenie i doskonaleniu technik stosowanych w sportach walki. Kopnięcie jest jedną z najczęściej wykonywanych i podstawowych technik wykorzystywanych w celu pokonania przeciwnika. Szybkość kopnięcia to kluczowy element mający znaczenie w neutralizacji ataku przeciwnika i przeniesieniu energii, a jej głównymi składowymi jest czas reakcji i czas ruchu (Vagner i wsp. 2022). Vagner i wsp. (2023) przeprowadzili badania mające na celu określenie czasu kopnięcia okrężnego w trzech grupach: elitarnej, średniozaawansowanej i nowicjuszy. W każdym przypadku (bliski, średni, daleki dystans) grupa elitarna wykonała kopnięcie szybciej w porównaniu z pozostałymi grupami.

W niniejszych badaniach grupa zaawansowana w kopnięciu na tarczę wykonała mae-geri szybciej przed rozgrzewką. W przypadku pozostałych warunków czas okazał się taki sam. Natomiast w kopnięciu w powietrze szybsi okazali się zawodnicy średniozaawansowani. Taka różnica w czasach związanych z wykonaniem mae-geri począwszy od ruchu stopy do maksymalnego wyprostu kolana może wiązać się z kilkoma istotnymi aspektami. Po pierwsze kopiąc w powietrze kończyna dolna generuje ruch stawu biodrowego, kolanowego i skokowego „napędzając" kolejne segmenty: udo, podudzie i stopę. Założeniem jest by ostatni element łańcucha biokinematycznego, czyli stopa z maksymalną siłą i szybkością dosięgnęła celu i „oparła" się na przeciwniku, w tym przypadku na chudanie. Kopiąc w powietrze tego „oparcia" rzecz jasna nie osiągamy. Doświadczeni, zaawansowani zawodnicy doskonale zdają sobie z tego sprawę i świadomie w sposób prewencyjny zwalniają ruch kończyny w celu ochrony narządu ruchu przed niepożądanym urazem. Po drugie zaobserwowano, że zawodnicy zaawansowani kopiąc w powietrze zanotowali lepszy czas po rozgrzewce niż przed nią i ten wynik jako jedyny wykazał istotność statystyczną. Świadczyć to może o wysokiej sa-

mokontroli i świadomości w kopnięciach bez uprzedniej rozgrzewki. Zawodnicy doskonale zdają sobie sprawę jaką wartość niesie ze sobą wdrożona rozgrzewka przed jakąkolwiek aktywnością w karate. Magalhaes i wsp. (2010) badając młodych karateków zaobserwowali, że program standardowej rozgrzewki aplikowanej przed aktywnością znacznie poprawił ustawienie kątowe stawu kolanowego w zamkniętym łańcuchu kinematycznym. Mechanoreceptory stawowe, mięśniowe czy ścięgniste jako wyspecjalizowane zakończenia nerwowe przekazują informację do ośrodkowego układu nerwowego w postaci sygnałów neuronalnych. Taka złożona informacja, czyli propriocepcja, daje świadomość o pozycji ciała w przestrzeni. Oczywistym jest, że wszelkie zmiany funkcjonalne mięśni jako elementów zawiadujących stawami będą odgrywały kluczową rolę w odczuwaniu pozycji czy to w otwartym czy zamkniętym łańcuchu kinematycznym. Czucie głębokie odgrywa kluczową rolę w bardziej lub mniej świadomych odczuciach, automatycznej kontroli ruchu, koordynacji i równowadze czy uczeniu motorycznym. Zatem poprawa priopriocepcji poprzez ćwiczenia rozgrzewkowe może wpłynąć na poprawne ustawienia segmentów ciała w przestrzeni, a co za tym idzie zmniejszyć ryzyko urazu.

Istnieje kilka czynników, które mogą determinować średnie czasy reakcji tj.: wiek, płeć, dominacja lewej lub prawej strony ciała, widzenie peryferyjne i centralne, praktyka, zmęczenie, cykl oddechowy, aktywność fizyczna, typ osobowości oraz inteligencja badanego. Ponadto istnieje kilka składowych samego czasu reakcji: czas przetwarzania myśli, czas przewodzenia nerwu, czas analizy ruchu czy poziom wytrenowania (Badau i wsp. 2018).

Przybylski i współpracownicy przeprowadzili badania na grupie 32 karateków badając różnym stopniem zaawansowania – od 1kyu do 3 dan. W swoich analizach użyli testów mierzących czas prostych i złożonych reakcji dla kończyn górnych i dolnych. Każdy z badanych został poproszony o wciśnięcie przycisku ręką lub stopą w odpowiedzi na zadany prosty lub złożony bodziec (reakcja na impuls świetlny i dźwiękowy). Jak stwierdzili ich badania nie dają jednoznacznej odpowiedzi czy różny poziom zaawansowania zawodników może mieć wpływ na czasy reakcji (Przybylski i wsp. 2021). Z drugiej strony wcześniejsze badania (Mori i wsp. 2002) odnoszące się do czasów reakcji zawodników zaawansowanych w porównaniu z nowicjuszami, gdzie określano czasy reakcji na podstawie wyświetlanych na monitorze wcześniej nagranych akcji zaczepnych oponenta dały interesujące wyniki. Zawodnicy mieli zdecydować przyciskami lewej i prawej dłoni czy atak zostanie przeprowadzony w ich górny, czy

środkowy segment ciała. Dodatkowo poproszono o zlokalizowanie czarnej kropki na ekranie i jak najszybsze naciśnięcie przycisku, gdy pokaże się ona w górnej czy środkowej lokalizacji ekranu. Otóż w odpowiedzi na zadany bodziec, który był wyświetlany w jednakowych odstępach czasu, eksperci nie okazali się lepsi. Gdy jednak do warunków dodano losowe w czasie wyświetlanie zdarzeń na ekranie, eksperci nie pozostawili wątpliwości, że to oni lepiej reagują na bodziec. Sytuacja druga jest zdecydowanie bardziej specyficzna w sportach walki, gdzie przeciwnik nie informuje, kiedy przeprowadzi atak, a zadaniem defensora jest obrona przed nim. Zgodnie z tym można stwierdzić, że zawodnicy zaawansowani odznaczają się większą antycypacją i w kontekście losowych akcji zdecydowanie lepiej reagują niż nowicjusze. Ponadto wyświetlanie na ekranie postaci atakującej jest zdecydowanie bardziej zbliżone do walki niż sygnał dźwiękowy, impuls świetlny czy kropka na ekranie. W innych badaniach Zemková i wsp. (2016) zaobserwowali, że zawodnicy trenujący karate-kumite mają lepsze czasy reakcji zarówno w prostych jak i złożonych testach od tych uprawiających kata. Zawodnicy kata nie mają bodźca w postaci stojącego przed nimi przeciwnika, lecz wykonują akcje zgodnie z tempem wyimaginowanej walki. Stąd przypuszczać można, że doświadczenie w prawdziwej walce będzie w pozytywny sposób wpływało na antycypowanie i lepsze czasy reakcji. W niniejszych badaniach użyto tarczy jako przedmiotu zaczepnego, gdzie na ruch asystenta zawodnicy mieli wykonać kopnięcie mae-geri. Taka prowokacja wydaje się być adekwatna i zbliżona do naturalnej walki. Do badań zaproszono ekspertów oraz średniozaawansowanych. W przypadku tych drugich czasy reakcji w każdych warunkach, czy to przed czy po rozgrzewce oraz po „walce z cieniem" okazał się taki sam. Eksperci przed rozgrzewką zanotowali najgorszy czas reakcji by finalnie po walce z cieniem skrócić go maksymalnie. Zawodnicy średniozaawansowani nie są nowicjuszami lecz mają lata treningu za sobą i pewien bagaż doświadczeń, co widać w niewielkich różnicach czasów reakcji. Niemniej godnym uwagi jest fakt, że żadna z opcji badawczych nie wpłynęła na czas reakcji tej grupy. Eksperci w pewien sposób „wypracowywali" dojście do najlepszej reakcji i po walce z cieniem taką reakcję uzyskali. Świadczyć to może o większej antycypacji i lepszym zaktywizowaniu układu ruchu do podjęcia walki po uprzedniej rozgrzewce i symulowanej walce.

Zgodnie z tym co podano wcześniej, że na średni czas reakcji wpływa wiele czynników oraz biorąc pod uwagę, że sama reakcja składa się z kilku elementów, niezwykle trudne jest określenie czy same różnice w poziomie zaawansowania będą głów-

nym wyznacznikiem. Jak widać zdania ekspertów są podzielone i nie do końca zgodne co do tej kwestii.

Wskaźniki czasu reakcji w grupie elitarnej zwracają uwagę na dość istotny element. Wydawałoby się, że krótszy czas reakcji będzie warunkował krótszy czas ruchu. Jednak w niektórych przypadkach redukcja czasu reakcji była współzależna z dłuższym czasem ruchu i odwrotnie. Czas reakcji można najprościej wyjaśnić jako czas, który upłynął od zaistnienia bodźca do pierwszej reakcji ruchowej i można go rozbić na pięć składowych: czas powstania pobudzenia receptora, czas przekazania pobudzenia do ośrodkowego układu nerowowego, czas przebiegu pobudzenia przez ośrodki nerwowe i stworzenie sygnału zwrotnego, czas przebiegu informacji z ośrodków nerwowych do efektora (mięśnia), czas pobudzenia mięśnia. Natomiast czas ruchu rozpoczyna się od ostatniego etapu czasu reakcji, aż do zakończenia ruchu. Bołoban w swoich badaniach przytacza kopnięcie po obrocie prostą nogą w taekwon-do, gdzie wykonanie prawidłowej akcji jest krótsze niż sama reakcja na nią. Wynika z tego, że kopnięcia, nie tylko w karate, ale w innych sztukach walki są niezwykle trudne do zablokowania, a najważniejszym czynnikiem warunkującym dosięgnięcie przeciwnika jest szybkość (Bołoban 2009). W niniejszych badaniach czasy ruchu elitarnej grupy były takie same, bądź lepsze niż u średniozaawansowanych, nawet pomimo tego, że reakcja zawodników średniozaawansowanych była przeważnie szybsza. Kluczowa w tym przypadku wydaje się szybkość wykonania mae-geri, a nie sama reakcja na kopnięcie.

Karate jak i inne sporty walki z założenia nie są do końca bezpieczne i niosą ze sobą ryzyko urazu. Narażenie na potencjalną kontuzję może zostać zmniejszone poprzez poznanie mechanizmów występowania i zapobiegania im. Według badań najczęstszymi miejscami urazów wśród karateków są tułów (40%), staw kolanowy (32%) i kończyny górne (16%). Urazy kończyn dolnych są najczęstsze w taekwon-do czy judo. Dzieje się tak za sprawą nieustannie powtarzających się kopnięć, które jak wiadomo przynoszą największą korzyść w walce. Dlatego też tak ważne jest poznanie mechanizmu występowania urazów, aby w sposób wszechstronny i naukowy zapobiegać nieprawidłowym wzorcom. Skoro znane są obszary najczęściej dotknięte kontuzjami, należy opracować strategie treningowe, które będą zapobiegać mikrourazom mogącym sumować się w poważne uszczerbki na zdrowiu (Naserpour i wsp. 2021; Perez–Martin i wsp. 2021).

W 2019 roku przeprowadzono badania ankietowe wśród irańskich zawodników karate z czego na 390 karateków, 287 przyznało, że odniosło jedną lub więcej kontuzji

kolana, a najczęstszym mechanizmem urazu było kopnięcie przeciwnika. Strukturami najczęściej objętymi uszkodzeniem jest zerwanie więzadła krzyżowego przedniego, uszkdzenie chrząstki stawowej czy łąkotek w odpowiedzi na obracanie i skręcanie (Naserpour 2021).

W niniejszych badaniach zaobserwowano, że grupa elitarna prowadząc ruch w kierunku przeciwnika ustawiała staw kolanowy tj. udo z podudziem w jednej osi, oscylując w okolicach 0°. Grupa średniozaawansowana nadmiernie rotowała zewnętrznie podudzie w stosunku do kości udowej. Takie skręcające działanie wpływa na zwiększenie ryzyka zerwania aparatu więzadłowego czy ścięgnistego, a deficyty w obrębie więzadła krzyżowego przedniego prowadzą do niestabilności przedniej i rotacyjnej stawu kolanowego (Huang i wsp. 2007). Co więcej prawidłowa równowaga pomiędzy mięśniem czworogłowym, a ścięgnami podkolanowymi jest kluczowa w ochronie przed naderwaniem więzadła krzyżowego przedniego (El-Ashker i wsp. 2022).

Zaobserwowano, że podczas kopnięcia w powietrze grupa elitarna w mniejszym stopniu prostowała staw kolanowy w przeciwieństwie do grupy średniozaawansowanej. Wydaje się, że zaawansowani odznaczają się większą świadomością motoryczną i w sposób prewencyjny zwalniają ruch w końcowej fazie chroniąc staw kolanowy przed balistycznym „wyrzuceniem" kończyny w powietrze. Mbubaegbu i Percy (1994) opisali przypadek 16-letniego karateki, który trenując sam doznał poważnego urazu kości udowej. Podczas bezkontaktowego kopnięcia w powietrze zawodnik poczuł ból stawu kolanowego oraz natychmiastowo pojawił się obrzęk. Doszło do odłamania fragmentu chrzęstno-kostnego kłykcia bocznego kości udowej do której przyczepione było więzadło poboczne. To pokazuje skalę problemu u niedoświadczonych karateków, którzy w niekontrolowany sposób wykonują uderzenia czy kopnięcia narażając aparat kostno-stawowy na kontuzje, które skutkują kilkumiesięczną absencją treningową. Inny opisany przypadek dotyczy 38 letniego karateki (4 dan), który podczas treningu wykonywał kopnięcie z półobrotu w głowę przeciwnika. Cel nie został osiągnięty, ponieważ przed końcem ataku zawodnik wyhamował kończynę dolną po czym odczuł bolesne trzaskanie w stawie kolanowym, co uniemożliwiło mu kontynuowanie treningu. Badania wykazały uszkodzenie więzadła krzyżowego przedniego III stopnia. Przyczyny takiego urazu upatruje się w maksymalnym wyhamowaniu stawu kolanowego, czyli działaniu dynamicznej siły, w tym przypadku z mięśnia czworogłowego uda (Huang i wsp. 2007). To pokazuje jakie ryzyko urazu niosą za sobą kopnięcia wykonywanie

w „powietrze”. Zawodnicy zaawansowani wykonując kopnięcia bez kontaktu z celem w kontrolowany sposób nie dopuszczają do osiągnięcia maksymalnych zakresów ruchu stawów. Ma to na celu głównie działanie prewencyjne układu kostno-stawowego i mięśniowego.

Z drugiej strony podczas kopnięcia na tarczę to zawodnicy elitarni bardziej prostowali staw kolanowy i zginali podeszwowo stopę, niż grupa średniozaawansowana. Cel w postaci tarczy daje „oparcie” dla ostatniego segmentu jakim jest stopa dzięki czemu staw kolanowy może zostać bardziej wyprostowany (bez ryzyka urazu), a to daje zdecydowanie większą siłę kopnięcia. W przypadku mae-geri stopę kończyny kopiącej można porównać do bicza. Ostatni element bicza podczas wymachu osiąga największą prędkość i z maksymalną siłą uderzy w przedmiot, który znajdzie się na trajektorii ruchu. W podobny sposób działa stopa kopiącego, gdzie staw biodrowy, kolanowy i skokowy wyrzucają kolejne segmenty jakimi są: udo, podudzie i stopa.

Niniejsza praca, poza danymi czasu ruchu i czasu reakcji kopnięcia mae-geri oraz zakresami kątowymi czy ułożeniu segmentów ciała w przestrzeni, przedstawia również sygnał powierzchniowej elektromiografii zaangażowanych grup mięśniowych. Dane EMG do określenia aktywizacji włókien mięśniowych są zwykle normalizowane do wartości odniesienia, aby uniknąć zmienności wynikającej z rozmieszczenia elektrod i dyspozycji dnia uczestników. Najpopularniejszą metodą jest normalizacja danych EMG do maksymalnego dowolnego skurczu (MVC), co nie tylko pozwala porównać dane, ale także informuje o tym jak aktywne są mięśnie w stosunku do maksymalnych możliwość (Jarque-Bou i wsp. 2021; Estevan i wsp. 2015). W pracy przedstawiono uśrednione wyniki wyrażone w procencie MVC na przestrzeni całego ruchu kopnięcia mae-geri.

Badania miały na celu ujawnić różnice w aktywizacji poszczególnych grup mięśniowych porównując zawodników zaawansowanych i średniozaawansowanych w różnych warunkach.

Jak powszechnie wiadomo aktywna rozgrzewka przed wysiłkiem zwiększa wydajność mięśniową, głównie za sprawą podniesienia temperatury, która wpływa na zwiększenie tempa aktywności ATPazy. Dzięki temu włókna aktynowe i miozynowe szybciej wnikają między siebie, co sprzyja wzrostowi osiągów dynamicznych. Istnieją również inne czynniki mogące wpłynąć na wydajność pracy między włóknami kurczliwymi. Jeśli poszczególne sarkomery we włóknie mięśniowym będą mogły być szyb-

ciej aktywowane, prędkość skracania całego włókna zostanie zwiększona (Stewart i wsp. 2003).

W badaniach zaobserwowano trend, który pokazał, że rozgrzanie poszczególnych grup mięśniowych wpływa na zwiększenie aktywizacji mięśni w procencie MVC, a poziom zaawansowania nie miał większego znaczenia. Wszyscy zawodnicy wykonując rozgrzewkę przygotowali aparat mięśniowy w taki sposób, że napięcie bioelektryczne wzrosło, zarówno podczas kopnięcia w powietrze czy tarczę, co wykazał procent MVC każdej z grup. Ponadto zaobserwowano zwiększoną aktywizację mięśni podczas kopnięcia na tarczę niż w powietrze. Przyczyny mogą być dwie. Po pierwsze zawodnicy mając realny cel w postaci tarczy trzymanej przez asystenta bardziej angażują się wykonując mae-geri. Jest to sytuacja zbliżona do realnej walki i atakujący kopie w celu neutralizacji przeciwnika. Po drugie zawodnicy kopiąc w powietrze nie muszą używać tak dużej siły oraz powinni aktywizować mięśnie antagonistyczne w celu wyhamowania ruchu. Doświadczeni zwodnicy działają ochronnie na stawy kopiąc w powietrze wiedząc, że na końcu nie ma „oparcia" w postaci tarczy i przeciwnika. Zaobserwowane tendencje w aktywności mięśniowej nie mają potwierdzenia w postaci istotności statystycznej poza jedną grupą mięśniową. Otóż zaobserwowano zwiększoną aktywizację mięśni trójgłowych łydki kończyny kopiącej w powietrze w obu grupach. Zarówno eksperci jak i średniozaawansowani zwiększyli procent MVC mięśnia zginającego podeszwowo staw skokowy górny. Należy tutaj zaznaczyć, że elektrody umieszczone na podudziu rejestrowały aktywność oddzielnie dla każdej z głów mięśnia trójgłowego. Dzięki temu udało się zaobserwować, że grupa średniozaawansowana bardziej wykorzystuje mięsień płaszczkowaty do zgięcia stawu skokowego niż zaawansowani. Co prawda po rozgrzewce wszyscy zwiększyli aktywizację mięśnia płaszczkowatego, co okazało się istotne statystycznie, ale to zaawansowani dołożyli do tego zwiększoną aktywizację mięśnia brzuchatego.

Należy podkreślić, że kompleks mięśniowo-ścięgnisty, czyli mięsień trójgłowy wraz ze ścięgnem Achillesa odgrywa kluczową rolę w procesie magazynowania i wyrzutu energii. Wydajnie działające mięśnie brzuchate w połączeniu z mięśniem płaszczkowatym odgrywają ważną rolę w każdym sporcie, gdzie wymagane jest gwałtowne przyśpieszenie i użycie dużej siły eksplozyjnej (Pożarowszczyk i wsp. 2017, Tsai i wsp. 2017). Działanie ścięgna Achillesa na staw skokowy można podzielić na aktywność mięśni brzuchatych i płaszczkowatego. Każdy z nich jest intensywnie aktywowany podczas faz chodu w celu utrzymania pozycji stojącej i generowania sił napę-

dowych. Chodź są agonistami to mają cechy różniące je pod względem funkcjonalnym i histologicznym. Brzuchaty łydki wykazuje aktywację balistyczną, podczas gdy płaszczkowaty aktywuje się w sposób ciągły, gdy utrzymuje się pozycję stojącą. Pod względem histologicznym oba mięśnie różnią się proporcjami włókien mięśniowych wolno i szybko kurczliwych. Proporcja włókien wolnokurczliwych w mięśniu brzuchatym stanowi około 50% w porównaniu z 90% w mięśniu płaszczkowatym. Należy również zauważyć, że mięsień brzuchaty jest zdecydowanie bardziej narażony na urazy ponieważ jest mięśniem dwustawowym działającym na staw kolanowy i skokowy. Badacze analizując urazy w obrębie mięśni łydki twierdzą, że mięsień płaszczkowaty raczej rzadko ulega kontuzjom działając tylko na staw skokowy (Dixon 2009; Fujiwara i wsp. 2010; Tsai i wsp. 2017).

Te różnice funkcjonalno – histologiczne wpływają niewątpliwie na prace kolana, podudzia i stopy podczas kopnięcia mae-geri. Eksplozywny charakter mięśni brzuchatych będzie odgrywał kluczową rolę w osiągnięciu celu i to one głównie będą decydowały o sile ataku. W końcowej fazie kopnięcia, kiedy to staw kolanowy zostaje całkowicie lub prawie całkowicie wyprostowany to właśnie oba mięśnie brzuchate aktywnie wpłyną na zgięcie podeszwowe stopy, aby osiągnąć przeciwnika. Zawodnicy zaawansowani odznaczyli się większą aktywnością tej grupy mięśniowej po rozgrzewce, co może zapewnić większą moc kopnięcia. Grupa średniozaawansowana aktywizowała bardziej mięsień płaszczkowaty, co w oczywisty sposób może wpłynąć na mniej efektywne kopnięcie mae-geri pod względem siłowym. Ponadto zaobserwowano tendencję, w której podczas kopnięcia na tarczę grupa elitarna bardziej wykorzystywała mięsień obszerny boczny do wyprostu kolana, co uwidocznił %MVC. Mięsień obszerny boczny jest największym i najsilniejszym prostującym staw kolanowy i to w połączeniu z większym zgięciem podeszwowym stopy grupy zaawansowanej w uderzeniu na tarczę może wskazywać na większą siłę ataku. Badania niestety nie włączyły elementów pomiarowych, które będą w stanie ocenić siłę kopnięcia mae-geri. To mogłoby potwierdzić przypuszczenia i tendencje o silniejszym kopnięciu grupy elitarnej w porównaniu z grupą średniozaawansowaną. Są ku temu jednak przesłanki zarówno w %MVC, zakresach kątów w stawach, czasów ruchu i reakcji.

Elektromiografia powierzchniowa oceniająca aktywność mięśniową i czujniki inercyjne opisujące ułożenie segmentów ciała w przestrzeni są w stanie w precyzyjny sposób określić różnice i podobieństwa w strukturze ruchu na przykładzie kopnięcia mae-geri. Nie wszystkie wyniki podzieliły badane grupy na dwa „obozy", które wyko-

nały kopnięcie w karate kyokushin zupełnie inaczej. Pamiętać należy, że obie grupy trenują od kilku, kilkunastu lub kilkudziesięciu lat i nie należy spodziewać się spektakularnych różnic w wykonaniu elementarnego kopnięcia. Istnieją przesłanki takie jak większy bądź mniejszy zakres wyprostu stawu kolanowego, większe bądź mniejsze zgięcie podeszwowe stopy, szybsze wykonanie ruchu czy reakcja na ruch tarczy, które mogą posłużyć zarówno celom treningowym lub prewencyjnym. Szkoląc nowych adeptów sztuk walki taka kompleksowa ocena, już na początku drogi sportowej, może wyeliminować błędy w postawie i samej strukturze ruchu. Korygowanie zawodników nabywających nowe umiejętności może skrócić drogę do osiągnięcia klasy mistrzowskiej, a także zapobiec ewentualnym kontuzjom wyłączającym z prowadzenia aktywności.

VI. Podsumowanie

1. Znaczenie czasu reakcji (RT) w sportach walki na przykładzie kopnięcia mae-geri

Znaczenie RT w sportach walki jest związane z lepszą i szybszą zdolnością do reagowania na działania przeciwnika, tworząc skuteczny atak lub kontratak. Czas reakcji (RT) odgrywa ważną rolę w sportach walki i można go zdefiniować jako czas potrzebny sportowcom na reakcję na dany bodziec. W sportach walki zależy on w dużej mierze od bodźca wzrokowego, spowodowanego działaniem przeciwnika (tj. odwrót, atak lub obrona). W niniejszych badaniach zaobserwowano pewne prawidłowości w czasie reakcji zawodników karate, czas reakcji na bodziec wzrokowy (ruch tarczą treningową) u zawodników średniozaawansowanych był zbliżony w każdej próbie, natomiast u zawodników zaawansowanych był coraz szybszy. Świadczy to o antycypacji związanej z obserwacją zachowań przeciwnika, rzeczywistych sytuacji, w których każdy zawodnik ma do czynienia z jednym przeciwnikiem przez pewien czasu. Stąd poprzednie działania przeciwnika mogą dostarczyć przydatnych informacji dla nadchodzących ataków i ułatwić działania obronne pod względem szybkości i dokładności (Mori i wsp. 2002). Krótszy czas reakcji wiąże się z szybszym podjęciem decyzji o rozpoczęciu ataku. Wyjaśnienie tego zjawiska można znaleźć w zdolności profesjonalistów do lepszej oceny bodźców zewnętrznych przed zaprogramowaniem ukierunkowanej reakcji motorycznej (Loturco i wsp. 2015). Zdolności antycypacji ruchowej dobrze wpisują się w praktyczne aspekty karate, które kładą duży nacisk na rolę przewidywania, jest to szczególnie ważne w obronie, aby uniknąć ataku przeciwnika i przyjąć odpowiednią pozycję przed kontaktem.

Zrozumienie RT prezentowanego przez elitarnych karateków podczas wykonywania różnych rodzajów technik może być pomocne przy opracowaniu programów treningowych w celu poprawy tej zdolności podczas walk.

2. Zmiany napięcia mięśni (EMG) w zależności od rodzaju rozgrzewki

Wzrost aktywacji mięśni dzięki zastosowaniu odpowiednich form rozgrzewki wpływa na efektywność kopnięć w karate. Przeprowadzone badania pokazały korzystny wpływ ćwiczeń rozgrzewkowych na pracę mięśniową, zastosowany schemat ćwiczeń oparty na wykonywaniu serii pompek, przysiadów oraz specyficznych technik karate łączonych w postaci „walki z cieniem” wykazały wzrost aktywacji mięśniowej.

Jak przedstawia McGowan i wsp. (2015) podczas rozgrzewki dochodzi do wzrostu temperatury mięśni, czemu towarzyszą takie zjawiska jak: wzrost metabolizmu mięśni i prędkości przewodzenia włókien mięśniowych. Stwierdzono również podwyższenie kinetyki VO2 i wzrost wydajności skurczów mięśni po wcześniejszej aktywności skurczowej.

W niniejszych badaniach uzyskano wzrost aktywacji mięśni znormalizowanej do MVC, dla następujących mięśni: dwugłowy uda, płaszczkowaty, brzuchaty łydki, z tym, że aktywacja %MVC była wyższa po cyklu przysiady/pompki, a nieco niższa po „walce z cieniem". Aandahl i wsp. (2018) odnotowali wzrost aktywności mięśniowej również w mięśniu obszernym przyśrodkowym i mięśniu prostym uda. Wyniki te wskazują, na pozytywne oddziaływanie rozgrzewki, w tym kopanie z elastycznym oporem, na wydajność kopnięć w karate.

3. Biokinematyczne wskaźniki jako atrybuty skuteczności kopnięcia w tarczę

W treningu karate siła eksplozywna odgrywa kluczową rolę w zadawaniu potężnych uderzeń i wykonywaniu szybkich ruchów. W celu poprawy parametrów siłowo-szybkościowych warto wprowadzić do treningu ćwiczenia ukierunkowane na kluczowe grupy mięśni, aby w konsekwencji generować większą siłę przy maksymalnej prędkości, co umożliwia zawodnikom wykonywanie błyskawicznych ciosów, kopnięć i manewrów unikowych. W przeprowadzonych badaniach zawodnicy zaawansowani w kopnięciu na tarczę bardziej prostowali staw kolanowy i zginali podeszwowo stopę, co odzwierciedla zmiany w aktywacji mięśnia brzuchatego łydki oraz płaszczkowatego. Analizując dane z wybranych artykułów, stwierdzono, że siła uderzenia kopnięcia może być związana z siłą izokinetyczną zginaczy i prostowników stawu biodrowego oraz prędkością kątową stawu kolanowego (Moreira i wsp. 2021; Vagner i wsp. 2019). Dlatego warto zalecić poprawę siły kopnięć za pomocą treningu obejmującego ćwiczenia funkcjonalne skoncentrowane na sile eksplozywnej kończyn dolnych, w których oprócz tradycyjnych ćwiczeń, uwaga skupia się również na ćwiczeniach wspomagających fazę przedkontaktową i kontaktową kopnięcia (Vagner i wsp. 2022, 2023).

VII. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy sformułowano następujące wnioski, które są zarazem odpowiedziami na postawione pytania badawcze:

1. **Czy stopień zaawansowania sportowego determinuje różnice we wzorcach ruchowych w kopnięciu mae-geri?**
    - Podczas wszystkich prób zaobserwowano, że zawodnicy zaawansowani dążą do ustawienia segmentu uda i podudzia w jednej osi podczas wykończenia kopnięcia w odróżnieniu od średniozaawansowanych, którzy nadmiernie rotują podudzie do zewnątrz - rotacja podczas kopnięcia zwiększa ryzyko urazu więzadeł i przyczepów mięśniowych.
    - Podczas kopnięcia w powietrze we wszystkich warunkach grupa zaawansowana wykazała mniejszy wyprost stawu kolanowego w końcowej fazie niż zawodnicy średniozaawansowani – działanie prewencyjne mające na celu ochronę przed urazem w obrębie stawu.
    - Zawodnicy zaawansowani w kopnięciu na tarczę bardziej prostowali staw kolanowy i zginali podeszwowo stopę co wiąże się z efektywniejszym osiągnięciem celu i zwiększonej sile ataku.
    - Zawodnicy średniozaawansowani „po walce z cieniem" zaczęli bardziej zginać staw kolanowy w pozycji wyjściowej, świadczyć to może o zmęczeniu układu mięśniowego.
2. **W jakim stopniu obserwuje się różnice w timingu, interpretowanego jako czas reakcji (RT) i czas ruchu (MT) w poszczególnych grupach?**
    - Rozgrzewka pozytywnie wpływa na skrócenie czasu ruchu podczas kopnięcia w powietrze. Świadczy to o potrzebie przygotowania mięśni i aparatu kostno-stawowego do zadania ruchowego.
    - Zaobserwowano tendencje do systematycznego skracania czasu reakcji u zaawansowanych karateków w kolejnych aplikowanych warunkach. Wiąże się to z wysoką antycypacją i zaadaptowaniem do wysiłku.
    - W obu grupach zaobserwowano, że krótszy czas reakcji (RT) nie generuje krótszego czasu ruchu (MT).
    - Wszystkie zaaplikowane warunki wpływają na skrócenie czasu reakcji u zaawansowanych karateków (średniozaawansowani czas zawsze ten sam), co świadczy o zaadaptowaniu do wysiłku i wysokiej antycypacji.

- Czas ruchu u zawodników zaawansowanych okazał się krótszy na tarczę niż podczas kopnięcia w powietrze – działanie ochronne podczas energicznego „wyrzucenia" stopy w kierunku celu w otwartym łańcuchu biokinematcznym.

3. **Czy można stwierdzić różnice w strukturze napięć mięśniowych rejestrowanych przez elektromiografię powierzchniową w zależności od badanej grupy?**
   - Kopnięcie na tarczę bardziej aktywizuje wszystkie grupy mięśniowe, co zaobserwowano w zwiększonym procencie MVC. Działanie wymierzone w konkretny cel angażuje więcej włókien mięśniowych.
   - W obu grupach rozgrzewka wpłynęła na zwiększenie zaangażowania badanych grup mięśniowych podczas kopnięcia w powietrze o czym świadczy wzrost %MVC–pozytywny wpływ rozgrzewki na mobilizacje układu mięśniowego.
   - Grupa średniozaawansowana podczas kopnięcia w powietrze zdecydowanie bardziej wykorzystywała mięsień płaszczkowaty w odróżnieniu od zaawansowanych, którzy zgięcie podeszwowe stopy generowali głównie z silniejszego mięśnia brzuchatego łydki. Tym samym bardziej zginali podeszwowo stopę w celu osiągnięcia celu.
   - Grupa zaawansowana podczas kopnięcia w tarczę bardziej wykorzystywała mięsień obszerny boczny w wyproście stawu kolanowego od grupy średniozaawansowanej, co w połączeniu z większym zgięciem podeszwowym wpływało na wzmocnienie siły ataku.
   - Po „walce z cieniem" aktywność mięśniowa grupy średniozaawansowanej znacząco spadła w 6/7 mięśni w porównaniu z grupa zaawansowaną. Świadczy to o lepszym przygotowaniu aparatu mięśniowego do przedłużającego wysiłku na rzecz grupy eksperckiej.
   - We wszystkich próbach (powietrze, tarcza) grupa średniozaawansowana bardziej wykorzystywała tylną stronę uda do zgięcia kolana w fazie przenoszenia kończyny zakrocznej. Natomiast grupa zaawansowana bardziej wykorzystywała grupę przednią uda (prosty i obszerny boczny) do wyprostu kolana w końcowej fazie. To w połączeniu z większym zgięciem podeszwowym wydaje się skuteczniejsze w celu wygenerowania większej siły eksplozywnej końcowego segmentu podudzia i stopy.

VIII. Streszczenie

Nieustanny rozwój sztuk walki oraz włączenie niektórych z nich do programu igrzysk olimpijskich w naturalny sposób wymusiło modyfikację celów jakie wcześniej sobie one stawiały. Proces treningowy podlegał prawom transformacji, aby nadać dyscyplinom walorów konkurencyjności. Analiza techniki sportowej zgodnie z zasadami biomechaniki jest podstawą procesu szkoleniowego w celu podniesienia poziomu zaawansowania sportowego. Co więcej każda sztuka walki w swojej różnorodności form ataku i obrony przedstawia całkowicie różne techniki wykonania.

Ideą jaka przyświecała konceptowi niniejszej dysertacji było rozwiązanie problemu współzależności pomiędzy wzorcem ruchowym techniki mae-geri, a spotykanymi w trakcie jednostki treningowej trzema fazami aktywności fizycznej z punku widzenia fizjologii: przed rozgrzewką, po rozgrzewce, w trakcie „walki z cieniem". Ponadto badani wykonywali technikę mae-geri w dwóch różnych warunkach, bardziej utylitarnie, na tarczę, której ruch jako sygnał wzrokowy – wyzwalany, rejestrował akcelerometr. Drugą opcją było kopnięcie w powietrze w formule kata, na swoje indywidualne tempo. Wykorzystano paradygmat nowicjusze-eksperci, aby ocenić różnice w opanowaniu wzorca ruchowego kopnięcia mae-geri w zależności od stopnia zaawansowania sportowego. Jako nowatorską koncepcję zaproponowano użycie zintegrowanych w tym samym czasie systemów: motion capture opartego na czujnikach inercyjnych oraz elektromiografii powierzchniowej (sEMG). W pierwszym przypadku stworzono komputerowe modele biokinematyczne na podstawie wystandaryzowanej kalibracji. Następnie zarejestrowano badaną technikę z możliwością wyliczenia wskaźników biokinematycznych na podstawie EMG i IMU.

Badania zostały przeprowadzone na Wydziale Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii, Politechniki Opolskiej w laboratorium antropomotoryki i biomechaniki. Grupę badaną [N = 28] stanowili zawodnicy karate kyokushin w stopniu zaawansowanym (od. 3 kyu – zielony pas – wzwyż, N = 13) grupę kontrolną zawodnicy średniozaawansowani (od 6 do 4 kyu, N = 15). Wyniki obu grup zostały uśrednione i porównane ze sobą.

Wyniki wskazują, że zaaplikowane warunki, wpływają na czas ruchu oraz czas reakcji w obu grupach. Zadania rozgrzewkowe przed uderzeniem w powietrze w obu grupach skróciły czas wykonania mae-geri. Ponadto w grupie zaawansowanej wykazano istotność statystyczną na poziomie $\boldsymbol{p = 0{,}035}$, co wskazuje na potrzebę uaktywnienia aparatu kostno - stawowego i mięśniowego do optymalnego poziomu oraz dużej świa-

domości prewencji przed urazem. Wyniki czasu reakcji nie wykazały istotności statystycznej pomiędzy grupami, natomiast pokazały tendencję, w której grupa zaawansowana skracała czas reakcji w kolejno zaaplikowanych warunkach. Rozgrzewka, „walka z cieniem" oraz uderzenie na tarczę są warunkami zbliżonymi do realiów treningowych czy też walki z przeciwnikiem, gdzie zawodnicy dochodzą do optymalnego stanu aktywacji włókien mięśniowych.

Wyniki analizy kinematyki kończyny dolnej nie wykazały istotnie statystycznych różnic pomiędzy grupami. Natomiast zaobserwowano kilka trendów, które mogą wpłynąć na wykonanie kopnięcia mae-geri. Grupa zaawansowanych karateków podczas kopnięcia w powietrze i na tarczę utrzymywała segment uda i podudzia w osi, podczas gdy pozostali rotowali staw kolanowy (podudzie) do zewnątrz. Takie działanie wpływa na sumowanie mikrourazów więzadłowych oraz mięśniowych, co w połączeniu z dużą siłą może skutkować skręceniem stawu lub naderwaniem czy zerwaniem więzadeł i mięśni. Ponadto zaobserwowano, że zaawansowani karatecy mniej prostują staw kolanowy podczas kopnięcia w powietrze w porównaniu z grupą średniozaawansowaną. Takie działanie stanowi ochronę kolana przed awulsyjnym uszkodzeniem, podczas energicznego „wyrzucenia" stopy w powietrze. Z drugiej strony podczas kopnięcia na tarczę to właśnie grupa ekspercka bardziej prostowała staw kolanowy i zginała podeszwowo stopę w celu uzyskania większej siły, którą przenosiła na tarczę.

Wyniki aktywności bioelektrycznej mięśni w postaci %MVC wykazały, że grupa średniozaawansowana podczas kopnięcia mae-geri, bardziej angażuje mięsień płaszczkowaty do zgięcia podeszwowego stopy, niż grupa zaawansowana. Z kolei eksperci w większym stopniu angażowali mięsień brzuchaty łydki, który jak wiadomo, jest mięśniem zbudowanym w przewadze z włókien szybkokurczliwych, co w połączeniu z dużą masą, zapewni generowanie większych sił. Dodatkowo zaobserwowano tendencję, w której zaawansowani podczas kopnięcia na tarczę bardziej wykorzystywali mięsień obszerny boczny jako silny prostownik stawu kolanowego. Takie działanie świadczy o wykończeniu ruchu i maksymalnym wyproście kolana, co w połączeniu z większym zgięciem podeszwowym i aktywnością mięśnia brzuchatego pozwoli na generowanie większej mocy w kopnięciu mae-geri.

Połączenie systemów sEMG i IMU umożliwia kompleksową ocenę aktywności wybranych mięśni oraz trajektorii ruchu kopnięcia mae-geri. Taka wiedza, już na początku szkolenia w karate kyokushin czy innych sztukach walki, umożliwia eliminację nieprawidłowych wzorców ruchowych i może skrócić czas drogi do osiągnięcia klasy

mistrzowskiej. Ponadto dokładna analiza ustawienia ciała czy trajektoria ruchu segmentów kończyn w przestrzeni daje możliwość przeciwdziałania urazom. Reasumując oba systemy mogą służyć jako narzędzie do monitorowania zawodników i modyfikacji jednostek treningowych pod kątem aktywności mięśniowej i kinematycznej.

IX. Abstract

The continuous development of the martial arts and the inclusion of some of them in the Olympic Games program naturally necessitated a modification of the goals they had previously set themselves. The training process was subject to the transformation laws, in order to give the disciplines a competitive edge. Analysis of sports technique in accordance with the biomechanics principles is the basis of the training process in order to raise the level of sporting sophistication. Moreover, each martial art, in its variety of attack and defence formes, presents completely different execution techniques.

The idea behind the concept of this dissertation? was solving the interdependence issue between the movement pattern of the mae-geri technique and the three phases of physical activity encountered during the training unit from a physiological point of view: before the warm-up, after the warm-up, during the 'shadow battle'.

In addition, the subjects performed the mae-geri technique in two different conditions, more utilitarian, on a target, whose movement as a visual-triggered signal was recorded by an accelerometer. The second option was to kick in the air in a kata formula, at their individual pace. A novice-expert paradigm was used to assess differences in the mastery of the movement pattern of the mae-geri kick depending on the level of sporting proficiency. As a novel concept, the use at the same time of integrated systems was proposed: motion capture based on inertial sensors and surface electromyography (sEMG). In the first case, biokinematic computer models based on a standardized calibration were created. The studied technique was then recorded with the possibility of calculating biokinematic indicators based on EMG and IMU.

The study was conducted at the Faculty of Physical Education and Physiotherapy of the University of Technology in Opole in the laboratory of anthropomotorics and biomechanics. The study group [N = 28] consisted of advanced karate kyokushin athletes (from. 3 kyu – green belt - upwards, N = 13) the control group of intermediate athletes (from 6 to 4 kyu, N = 15). The results of both groups were averaged and compared with each other.

The results indicate that the conditions applied, affect movement and reaction time in both groups. Warm-up tasks prior to hitting the air in both groups reduced the execution time of the mae-geri. In addition, the advanced group showed statistical significance at $\boldsymbol{p = 0.035}$, indicating the need to activate the skeletal and muscular apparatus to an optimal level and a high awareness of pre-injury prevention. Reaction time

results did not show statistical significance between groups but did show a trend where the advanced group reduced reaction time in successively applied conditions. Warm-up, 'shadow fighting' and hitting the target are conditions close to the reality of training or fighting an opponent, where athletes reach an optimal state of muscle fibre activation.

The results of the lower limb kinematics analysis showed no significant statistical differences between the groups. On the other hand, several trends that may affect the performance of the mae-geri kick were observed. The group of advanced karate practitioners kept the thigh and shin segments aligned during the air and target kick, while the others rotated the knee joint (shin) outwards. This action has the effect of adding up ligament and muscle micro-injuries, which, when combined with high force, can result in a sprained joint or a tear or rupture of ligaments and muscles. In addition, it has been observed that advanced karateka athletes straighten the knee joint less when kicking in the air compared to the intermediate group. Such an action is a protection of the knee from avulsion damage, during the vigorous "throwing" of the foot into the air. On the other hand, during the kick to the target, it was the expert group who straightened the knee joint more and flexed the sole of the foot in order to obtain more force, which they transferred to the target.

The results of muscle bioelectrical activity in terms of %MVC showed that the intermediate group, during the mae-geri kick, engaged the soleus muscle more for plantar flexion of the foot than the advanced group. The experts, on the other hand, engaged the gastrocnemius muscle to a greater extent, which, as is well known, is a muscle composed predominantly of fast-contracting fibres, which, combined with its large mass, will ensure the generation of greater forces. In addition, a trend was observed in which the advanced used the vastus lateralis muscle more during the shield kick as a strong extensor of the knee joint. This action demonstrates the finishing of the movement and the maximum straighten of the knee, which, combined with greater soleus flexion and gastrocnemius muscle activity, will allow the generation of greater power in the mae-geri kick.

The combination of the sEMG and IMU systems enables a comprehensive assessment of the activity of selected muscles and the movement trajectory of the mae-geri kick. Such knowledge, already at the beginning of training in kyokushin karate or other martial arts, makes it possible to eliminate incorrect movement patterns and can shorten the time to achieving a master class.

In addition, an accurate analysis of body positioning or the movement trajectory of limb segments in space makes it possible to prevent injuries. In summary, both systems can serve as a tool for monitoring athletes and modifying training units in terms of muscular and kinematic activity.

Piśmiennictwo

1. Aandahl H.S., Von Heimburg E., Van den Tillaar R.: Effect of Postactivation Potentiation Induced by Elastic Resistance on Kinematics and Performance in a Roundhouse Kick of Trained Martial Arts Practitioners. Journal of strength and conditioning research. 2018. 32(4), 990–996. doi.org/10.1519/JSC.0000000000001947.
2. Alesi M., Bianco A., Padulo J. i wsp.: Motor and cognitive development: the role of karate. Muscles Ligaments Tendons J. 2014. 4(2):114–120.
3. Badau D., Baydil B., Badau A.: Differences among Three Measures of Reaction Time Based on Hand Laterality in Individual Sports. Sports (Basel). 2018. 6(2):45. doi:10.3390/sports6020045.
4. Bielec G., Dziadek B., Borysiuk Z., Cynarski W.: Budo in Physical Recreation as a Form of Rapprochement to Nature. Sustainability. 2021. 13(12):6951. doi.org/10.3390/su13126951.
5. Błaszczyszyn M., Szczęsna A., Pawlyta M., Marszałek M., Karczmit D.: Kinematic Analysis of Mae-Geri Kicks in Beginner and Advanced Kyokushin Karate Athletes. Int J Environ Res Public Health. 2019. 16(17):3155. doi:10.3390/ijerph16173155.
6. Bołoban W.: Reaction time and motor time in an athlete's movements. Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports,. 2009. 10.295-300.
7. Borysiuk Z., Nowicki T., Piechota K., Błaszczyszyn M.: Neuromuscular, Perceptual, and Temporal Determinants of Movement Patterns in Wheelchair Fencing: Preliminary Study. BioMed Research International. 2020. 1–8. 10.1155/2020/6584832.
8. Borysiuk Z., Piechota K., Konieczny M. Pakosz P. Błaszczyszyn M.: Elektromiografia w sporcie – wybrane zastosowania praktyczne. Politechnika Opolska & Studio Impreso. 2015.
9. Borysiuk Z., Waśkiewicz Z., Piechota K. i wsp.: Coordination Aspects of an Effective Sprint Start. Front Physiol. 2018. doi:10.3389/fphys.2018.01138.
10. Borysiuk Z.: Complex evaluation of fencers predisposition in three stages of sport development. Biol Sport. 2006. 23.

11. Branco M., VencesBrito A., Rodrigues-Ferreira M. i wsp.: Effect of Aging on the Lower Limb Kinematics in Karate Practitioners: Comparing Athletes and Their Senseis. J Healthc Eng. 2019. 2672185. doi:10.1155/2019/2672185.
12. Chaabene H., Franchini E., Sterkowicz S., Tabben M., Hachana Y., Chamari K.: Physiological responses to karate specific activities. Science & Sports. 2015. 30. 10.1016/j.scispo.2015.03.002.
13. Chaabène H., Hachana Y., Franchini E., Mkaouer B., Chamari K.: Physical and physiological profile of elite karate athletes. Sports Med. 2012. 42(10):829–843. doi:10.1007/BF03262297.
14. Chang WG., Lin KY., Chu MY., Chow TH.: Differences in Pivot Leg Kinematics and Electromyography Activation in Various Round House Kicking Heights. J Sports Sci Med. 2021. 20(3):457-465. doi:10.52082/jssm.2021.457.
15. Choo CZY., Chow JY., Komar J.: Validation of the Perception Neuron system for full-body motion capture. PLoS One. 2022. 17(1):e0262730. doi:10.1371/journal.pone.0262730.
16. Concetto G.: Physics of Karate. Kinematics analysis of karate techniques by a digital movie camera. Lat. Am. J. Phys. Educ. 2010. 32–34.
17. Cynarski W., Wajs W., VencesBrito A.: Improving the movements of basic karate techniques with the use of motion capture and mathematical modeling. The concept of a research project. IDO Mov Culture. J Martial Arts Anthrop. 2014.14. 39–53.
18. Cynarski W., Wąsik J., Szymczyk D., Vences de Brito A.: Changes in foot pressure on the ground during mae-geri kekomi (front kick) in karate athlete – case study. Physical Education of Students. 2018. 22(1):12–6. doi.org/10.15561/20755279.2018.0102.
19. Cynarski W.: The European karate today: The opinion of experts. IDO Mov Culture. J Martial Arts Anthrop. 2014. 14. 10-21. doi:10.14589/ido.14.3.2.
20. Czajkowski Z.: Nauczanie techniki sportowej. COS. 2004. 4, s. 110–128.
21. Czajkowski Z.: Varieties of Sensory-motor Responses in Fencing. IDO Mov Culture. J Martial Arts Anthrop. 2012. 12 /1 s. 36–44.
22. Czyż S.H.: Variability of Practice, Information Processing, and Decision Making-How Much Do We Know? Front Psychol. 2021. 12:639131. doi:10.3389/fpsyg.2021.639131Z.

23. Diniz R., Vecchio F., Zaccaria G. i wsp.: Kinematic Comparison of the Roundhouse Kick Between Taekwondo, Karate, and Muaythai. J. Strength Cond. Res. 2018. 35. 1. 10.1519/JSC.0000000000002657.
24. Dixon B.J.: Gastrocnemius vs. soleus strain: how to differentiate and deal with calf muscle injuries. Curr Rev Musculoskelet Med. 2009. 2(2):74–77. doi:10.1007/s12178-009-9045-8.
25. Doria C., Veicsteinas A., Limonta E. i wsp.:. Energetics of karate (kata and kumite techniques) in top-level athletes. Eur J Appl Physiol. 2009. 107(5):603-610. doi:10.1007/s00421-009-1154-y.
26. El-Ashker S., Chaabene H., Prieske O.: Maximal isokinetic elbow and knee flexor-extensor strength measures in combat sports athletes: the role of movement velocity and limb side. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2022.14(1):40. doi:10.1186/s13102-022-00432-2.
27. Ericsson K., Krampe R., Tesch-Roemer C.: The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance. Psychological Review. 1993. 100. 363-406. 10.1037//0033-295X.100.3.363.
28. Ericsson K., Smith J.: Toward a General Theory of Expertise; Prospects and Limits. Cambridge University Press.1992.
29. Ervilha UF., Fernandes FM., Souza CC., Hamill J.: Reaction time and muscle activation patterns in elite and novice athletes performing a taekwondo kick. Sports Biomech. 2020.19(5):665-677. doi:10.1080/14763141.2018.1515244
30. Estevan I., Falco C., Elvira J., Vera-Garcia F.: Trunk and lower limb muscle activation in linear, circular and spin back kicks. Archives of Budo. 2015. 11. 215–220.
31. Fujiwara, K., Asai, H., Toyama, H.: Changes in muscle thickness of gastrocnemius and soleus associated with age and sex. Aging clinical and experimental research, 2010. 22(1), 24–30. doi.org/10.1007/BF03324811.
32. Garber C., Blissmer B., Deschenes M.: Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise. Medicine and science in sports and exercise. 2011. 43. 1334–59. 10.1249/MSS.0b013e318213fefb.

33. Hachaj T., Piekarczyk M., Ogiela M.R.: Human Actions Analysis: Templates Generation, Matching and Visualization Applied to Motion Capture of Highly-Skilled Karate Athletes. Sensors. 2017. 17,2590. doi.org/10.3390/s17112590.
34. Howard R.M., Conway R., Harrison A.J.: Muscle activity in sprinting: a review. Sports Biomech. 2018. 17(1):1–17. doi:10.1080/14763141.2016.1252790
35. Huang K.C., Hsu W.H., Wang T.C.: Acute injury of anterior cruciate ligament during karate training. Knee. 2007. 14(3):245–248. doi:10.1016/j.knee. 2006.12.002.
36. Jarque-Bou N.J., Sancho-Bru J.L., Vergara M.: A Systematic Review of EMG Applications for the Characterization of Forearm and Hand Muscle Activity during Activities of Daily Living: Results, Challenges, and Open Issues. Sensors (Basel). 2021;21(9):3035. doi:10.3390/s21093035.
37. Jemili H., Mejri M., Sioud R., Bouhlel E., Mohamed A.: (2016). Changes in muscle activity during karate guiaku-zuki-punch and kiza-mawashi-guiri-kick after specific training in elite athletes. Science & Sports. 2016. 32. 10.1016/j.scispo.2016.11.002.
38. Katić R., Jukić J., Cavala M., Vucić D., Blazević S.: Motor determinants of fighting efficacy in Croatian youth karateka. Coll Antropol. 2013. 37. 2:1–8.
39. Konrad P.: ABC EMG – Praktyczne wprowadzenie do elektromiografii kinezjologicznej. Technomex. 2007.
40. Kostovski Z., Zaborski B., Bratovcic V.: Heart Frequency and Lactate Concentration in Blood With Karate Athletes, During the Simulated and Official Competitions. Sport Science – International Scientific Journal of Kinesiology. 2017. 10.1. 16–19.
41. Krawiecki Z., Hulewicz A., Cichocki-Kaiser M.: Przetwarzanie i analiza sygnału elektrycznego z mięśni przy użyciu komputerowego stanowiska pomiarowego. Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering. 2016. 88: 35–45.
42. Loturco I., Franchini E. Abad C. i wsp.: A comparative study of specific reaction time in elite boxers: differences between jabs and crosses. Journal of Athletic Enhancement. 2015. 04. doi:10.4172/2324-9080.1000199.

43. Konieczny M., Pakosz P., Błaszczyszyn M.: Zastosowanie pomiaru trajektorii ruchu i koaktywacji mięśniowej do diagnozowania procesu rehabilitacji pacjentów po niedokrwiennych udarach mózgu. W: Człowiek w zdrowiu i chorobie – promocja zdrowia, pielęgnowanie i rehabilitacja. Pod redakcją: Pietrzyk J. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie. 2018. s. 226–237.
44. Magalhães T., Ribeiro F., Pinheiro A., Oliveira J.: Warming-up before sporting activity improves knee position sense. Phys Ther Sport. 2010. 11(3):86–90. doi:10.1016/j.ptsp.2010.06.001.
45. Mbubaegbu C.E., Percy A.J.: "Femoral osteochondral fracture--a non-contact injury in martial arts? A case report". *B*ritish journal of sports medicine. 1994. 28,3: 203–5. doi:10.1136/bjsm.28.3.203.
46. McGowan C.J., Pyne D.B., Thompson K.G., Rattray B.: Warm-Up Strategies for Sport and Exercise: Mechanisms and Applications. Sports medicine (Auckland, N.Z.). 2015. 45(11). 1523–1546. doi.org/10.1007/s40279-015-0376-x.
47. Menolotto M., Komaris D-S, Tedesco S., O'Flynn B, Walsh M.: Motion Capture Technology in Industrial Applications: A Systematic Review. Sensors. 2020. 20(19):5687. doi.org/10.3390/s20195687.
48. Messaoud W.B.: Karate, and the perception of the sport. IDO Mov Culture. J Martial Arts Anthrop. 2016. 16. 47-56. doi:10.14589/ido.16.3.6.
49. Milošević M., Mudrić R., Mudrić M.: The Biomechanical Analysis of the Karate Kick (Mae Geri) in the Function of Defining Educational Training Aims and Methods. Sport Sci. Pract. 2012. 2, 5–14.
50. Moreira P.V., Franchini E., Ervilha U.F., Goethel M.F., Cardozo A.C., Gonçalves M.: Relationships of the expertise level of taekwondo athletes with electromyographic, kinematic and ground reaction force performance indicators during the dollyo chagui kick. Archives of Budo. 2018. 14. 01–17.
51. Moreira PVS., Falco C., Menegaldo L.L., Goethel MF., de Paula L.V., Gonçalves M.: Are isokinetic leg torques and kick velocity reliab.le predictors of competitive level in taekwondo athletes?. PLoS One. 2021. 16(6):e0235582. doi:10.1371/journal.pone.0235582.
52. Mori S., Ohtani Y., Imanaka K.: Reaction times and anticipatory skills of karate athletes. Hum Mov Sci. 2002. 21(2):213-230. doi:10.1016/s0167-9457(02)00103-3.

53. Naserpour H., Baker JS., Letafatkar A., Rossettini G., Dutheil F.: An Investigation of Knee Injury Profiles among Iranian Elite Karatekas: Observations from a Cross-Sectional Study. Int J Environ Res Public Health. 2021.18(13):6888. doi:10.3390/ijerph18136888.
54. Parr M., Price P.D., Cleather D.J.: Effect of a gluteal activation warm-up on explosive exercise performance. BMJ Open Sport Exerc Med. 2017. 3(1):e000245. doi:10.1136/bmjsem-2017-000245.
55. Pérez-Martín L., Augustovicova D., Martínez-DE-Quel Ó., Tabben M., Arriaza R.: Severe knee injuries among karate athletes ranking towards the Tokyo Olympic Games: a retrospective study. J Sports Med Phys Fitness. 2021. 61(8):1117-1124. doi:10.23736/S0022-4707.21.12709-4.
56. Piepiora P., Szmajke A., Migasiewicz J., Witkowski K.: The karate culture and aggressiveness in kumite competitors. IDO Mov Culture. J Martial Arts Anthrop. 2016. 16. 41-47. 10.14589/ido.16.2.5.
57. Piepiora P., Witkowski K.: Quo Vadis, karate. Archives of Budo. 2023. 19. 129–135.
58. Piwowarski J., Ambroży T.: Modernity, Tradition and Security in Budo Karate. Apeiron. 2013. 9. 42–60.
59. Portela B.S., Barbosa M.R., Cavazzotto T.G., Tartaruga M.P.: Kinematics analysis of the front kick with and without impact on traditional karate. Arch Budo Sci Martial Art Extreme Sport. 2014. 10:47–51.
60. Pozo J., Bastien G., Dierick F.: Execution time, kinetics, and kinematics of the mae-geri kick: comparison of national and international standard karate athletes. J Sports Sci. 2011. 29(14):1553-1561. doi:10.1080/02640414.2011.605164.
61. Pożarowszczyk B., Pawlaczyk W., Smoter M. i wsp.: Effects of Karate Fights on Achilles Tendon Stiffness Measured by Myotonometry. J Hum Kinet. 2017.56:93-97. doi:10.1515/hukin-2017-0026.
62. Przybylski P., Janiak A., Szewczyk P., Wieliński D., Domaszewska K.: Morphological and Motor Fitness Determinants of Shotokan Karate Performance. Int J Environ Res Public Health. 2021. 18(9):4423.:10. doi:3390/ijerph18094423.
63. Quinzi F., Sbriccoli P., Alderson J., Di Mario A., Camomilla V.: Intra-limb coordination in karate kicking: Effect of impacting or not impacting a target. Hum Mov Sci. 2014. 33:108-119. doi:10.1016/j.humov.2013.07.021.

64. Ribeiro JL., de Castro BO., Rosa CS., Baptista RR., Oliveira AR.: Heart rate and blood lactate responses to changquan and daoshu forms of modern wushu. J Sports Sci Med. 2006. 5. 1–4.
65. Ricci F.P., Santiago P.R., Zampar A.C., Pinola L.N., Fonseca Mde C.: Upper extremity coordination strategies depending on task demand during a basic daily activity. Gait Posture. 2015. 42(4):472-478. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.07.061.
66. Schmidt R.: Motor control and learning: A behavioral emphasis. Human Kinetics Publishers. 1988.
67. Stewart D., Macaluso A., De Vito G.: The effect of an active warm-up on surface EMG and muscle performance in healthy humans. Eur J Appl Physiol. 2003;89(6):509-513. doi:10.1007/s00421-003-0798-2.
68. Szczęsna A., Błaszczyszyn M., Kawala-Sterniuk A.: Convolutional neural network in upper limb functional motion analysis after stroke. PeerJ. 2020. 8:e10124. doi:10.7717/peerj.10124.
69. Szczęsna A., Błaszczyszyn M., Pawlyta M.: Optical motion capture dataset of selected techniques in beginner and advanced Kyokushin karate athletes. *Sci Data*. 2021. 8(1):13.
70. Tabben M., Chaabène H., Franchini E., Tourny C., Chamari K., Coquart J.: The influence of karate practice level and sex on physiological and perceptual responses in three modern karate training modalities. Biol Sport. 2014. 31(3):201-207. doi:10.5604/20831862.1111438.
71. Thibordee S., Prasartwuth O.: Effectiveness of roundhouse kick in elite Taekwondo athletes. J Electromyogr Kinesiol. 2014. 24(3):353–358. doi:10.1016/j.jelekin.2014.02.002.
72. Tsai F., Chu I., Huang C., Liang J., Wu J., Wu W.: Effects of Taping on Achilles Tendon Protection and Kendo Performance. Journal of Sport Rehabilitation. 2017. 27. 1-26. 10.1123/jsr.2016-0108.
73. Vagner M, Cleather D, Kubovy P, Hojka V, Stastny P. Kinematic Determinants of Front Kick Dynamics Across Different Loading Conditions. Mil Med. 2022. 187(1-2):e147-e153. doi:10.1093/milmed/usaa542.
74. Vagner M., Cleather DJ., Olah V., Vacek J., Stastny P.: A Systematic Review of Dynamic Forces and Kinematic Indicators of Front and Roundhouse Kicks across Varied Conditions and Participant Experience. Sports. 2023. 11(8):141. https://doi.org/10.3390/sports11080141

75. Vagner M., Malecek J., Tomšovský L., Kubový P., Levitova A., Stastny P.: Isokinetic Strength of Rotators, Flexors and Hip Extensors is Strongly Related to Front Kick Dynamics in Military Professionals. J Hum Kinet. 2019. 68:145–155. doi:10.2478/hukin-2019-0063
76. Vagner M., Olah, V., Cleather D.J., Stastny P.: Evidence-Based Functional Training to Improve Front Push Kick Technique, Speed, and Net Force Production. Strength Cond. J. 2022. 44, 58–68.
77. Valevicius AM., Jun PY., Hebert JS., Vette AH.: Use of optical motion capture for the analysis of normative upper body kinematics during functional upper limb tasks: A systematic review. J Electromyogr Kinesiol. 2018.40:1–15. doi:10.1016/j.jelekin.2018.02.011.
78. VencesBrito A., Branco M., Fernandes R.: Characterization of kinesiological patterns of the frontal kick Mae-geri in karate experts and non-karate practitioners. Revista de Artes Marciales Asiáticas. 2014. 9. 20–31. 10.18002/rama.v9i1.1163.
79. VencesBrito A.M., Rodrigues Ferreira M.A., Cortes N., Fernandes O., Pezarat-Correia P.: Kinematic and electromyographic analyses of a karate punch. J Electromyogr Kinesiol. 2011. 21(6):1023–1029. doi:10.1016/j.jelekin.2011.09.007
80. Vitali RV., Perkins NC.: Determining anatomical frames via inertial motion capture: A survey of methods. J Biomech. 2020. 106:109832. doi:10.1016/j.jbiomech.2020.109832.
81. Vujkov S., Gonzalez C., & Krneta Z., Drid P., Ostojic S.: Physiological responses the organism of karate athletes specialists of kata and kumite during simulated competition. Archives of Budo. 2015. 11. 370.
82. Wang H., Chien H., Hsieh F., Lu T.: Muscle recruitment patterns and consistency, and their correlation with motor time during a Karate front kick. Biomedical Engineering, Applications, Basis and Communication. 2013. 25. 10.4015/S1016237213500592.
83. Wąsik J., Góra T.: Impact of target selection on front kick kinematics in taekwondo – pilot study. Physical Activity Review. 2016. (4):57–61.
84. Wąsik J., Mosler D., Ortenburger D., Góra T., Podstawski R.: Differences in Velocities of Crucial Body Segments while Executing Roundhouse Kicks for Both Sides. J Hum Kinet. 2023. 86:97-105. doi:10.5114/jhk/159451.

85. Wąsik J., Shan G.: Target effect on the kinematics of Taekwondo Roundhouse Kick – is the presence of a physical target a stimulus, influencing muscle-power generation? Acta Bioeng Biomech. 2015.17(4):115–120.
86. Wąsik J.: Kinematic analysis of the side kick in Taekwon-do. Acta of bioengineering and biomechanics. Wrocław University of Technology. 2011. 13. 71–5.
87. Williams A., Fawver B., Hodges N.: Using the 'Expert Performance Approach' as a Framework for Examining and Enhancing Skill Learning: Improving Understanding of How Experts Learn. Frontline Learning Research. 2017. 5. 139–154. 10.14786/flr.v5i3.267.
88. Wimalasena L.N., Braun J.F., Keshtkaran M.R. i wsp.: Estimating muscle activation from EMG using deep learning-based dynamical systems models. J Neural Eng. 2022. 19(3). doi:10.1088/1741-2552/ac6369.
89. Witkowski M., Tomczak E., Bojkowski Ł., Borysiuk Z., Tomczak M.: Do Expert Fencers Engage the Same Visual Perception Strategies as Beginners? J Hum Kinet. 2021. 78:49-58. doi:10.2478/hukin-2021-0045.
90. Witte K., Emmermacher P., Langenbeck N., Perl J..: Visualized movement patterns and their analysis to classify similarities-demonstrated by the karate kick Mae-geri. Kinesiology. 2012. 44. 155–165.
91. Zaborski B., Kastriot S., Dukanović N., Kostovski Z.: Changes in the physiological processes during training and official competitions in young karate athletes. Sports and Health. 2015. 5(2):105–110.
92. Zarrouk N., Hammouda O., Latiri I., i wsp.: Ramadan fasting does not adversely affect neuromuscular performances and reaction times in trained karate athletes. J Int Soc Sports Nutr. 2016. 13:18. doi:10.1186/s12970-016-0130-2.
93. Zemková E.: Differential Contribution of Reaction Time and Movement Velocity to the Agility Performance Reflects Sport-Specific Demands. Human Movement. 2016. 17. 94-101. 10.1515/humo-2016-0013.
94. Zvonar M., Kolářová K., Zahradníček V., Reguli Z., Vit M.: Kinematic Analysis in Combative Sports. IDO Mov Culture. J Martial Arts Anthrop. 2012. 12. 12–19.

Spis tabel

Tabela 1. Charakterystyka grupy średniozaawansowanej i zaawansowanej 25
Tabela 2. Czas ruchu w trzech warunkach 36
Tabela 3. Wyniki zakresów kątów w stawach przed rozgrzewką 37
Tabela 4. Wyniki zakresów kątów w stawach po rozgrzewce..... 38
Tabela 5. Wyniki zakresów kątów w stawach po „walce z cieniem”..... 39
Tabela 6. Czas reakcji i czas ruchu w trzech warunkach..... 40
Tabela 7. Wyniki zakresów kątów w stawach przed rozgrzewką 41
Tabela 8. Wyniki zakresów kątów w stawach po rozgrzewce..... 42
Tabela 9. Wyniki zakresów kątów w stawach po „walce z cieniem”..... 43
Tabela 10. Wyniki % MVC wybranych mięśni przed rozgrzewką 44
Tabela 11. Wyniki % MVC wybranych mięśni po rozgrzewce 45
Tabela 12. Wyniki % MVC wybranych mięśni po „walce z cieniem” 46
Tabela 13. Wyniki % MVC wybranych mięśni przed rozgrzewką 47
Tabela 14. Wyniki % MVC wybranych mięśni po rozgrzewce 48
Tabela 15. Wyniki % MVC wybranych mięśni po „walce z cieniem” 48

Spis rycin

Ryc. 1. Kopnięcie mae-geri [Szczęsna 2021] 12
Ryc. 2. Ogólny widok przedstawiający stawy i segmenty kończyny kopiącej [Wąsik 2016] 15
Ryc. 3. Kopnięcie mae-geri [Witte 2012]. 15
Ryc. 4. Schemat przedstawiający sposób oszacowania kątów stawu kolanowego w 3D przy pomocy systemu IMU [Vitali 2020]. 21
Ryc. 5. Czujnik EMG i elektrody.. 26
Ryc. 6. Rozlokowanie elektrod na kończynie kopiącej: mięsień prosty uda, obszerny boczny, piszczelowy przedni i płaszczkowaty 27
Ryc. 7. Mięśnie brzuchaty łydki przyśrodkowy i boczny oraz dwugłowy uda. 28
Ryc. 8. Czujnik inercyjny IMU. 29
Ryc. 9. Czujnik IMU na ręce badacza trzymającego tarczę. 29
Ryc. 10. Rozlokowanie czujników IMU na kończynie kopiącej. Idąc od góry segment uda, podudzia i stopy oraz miednica 30
Ryc. 11. Pozycja MVC dla mięśnia prostego uda i obszernego bocznego oraz płaszczkowatego łydki. Strzałka czerwona – opór; strzałka czarna – działanie przeciwko oporowi. 31
Ryc. 12. Pozycja MVC dla mięśnia piszczelowego przedniego i brzuchatego łydki przyśrodkowego i bocznego. Strzałka czerwona – opór; strzałka czarna – działanie przeciwko oporowi 32
Ryc. 13. Pozycja MVC dla mięśnia dwugłowego uda. Strzałka czerwona – opór; strzałka czarna - działanie przeciwko oporowi. 32
Ryc. 14. Protokół badawczy. 33
Ryc. 15. Przefiltrowany sygnał EMG badanych mięśni podczas trzech kopnięć w powietrze. 34
Ryc. 16. Wartości kątowe (początek – koniec) rotacji w stawie kolanowym w trzech warunkach (P1,P2,P3) podczas kopnięcia w powietrze. 49
Ryc. 17. Wartości kątowe (początek – koniec) zgięcia w stawie kolanowym w trzech warunkach podczas kopnięcia w powietrze. 50
Ryc. 18. Wartość %MVC dla mięśnia brzuchatego przyśrodkowego w trzech warunkach podczas kopnięcia w powietrze. 50

Ryc. 19. Wartość %MVC dla mięśnia płaszczkowatego w trzech warunkach podczas kopnięcia w powietrze. 51
Ryc. 20. Wartość %MVC dla mięśnia brzuchatego bocznego w trzech warunkach podczas kopnięcia w powietrze. 52