

mgr Anna Lisowska

Rozprawa doktorska

*Biomechaniczna ocena zmian przeciążeniowych narządu ruchu
u zawodników wyczynowo uprawiających kata w karate shotokan*

Autoreferat



Promotor:

Prof. AWF dr hab. Małgorzata Ogurkowska

Anna Lisowska MSc

Doctoral dissertation

*Biomechanical assessment of overload changes in the
musculoskeletal system in shotokan karate kata athletes*



Supervisor:

Assoc. Prof. Małgorzata Ogurkowska

Poznan 2021

Spis Treści

I. Autoreferat w języku polskim	4
Wstęp.....	5
Cel badań.....	7
Materiał i metody badawcze	8
Wyniki oraz ich omówienie	12
Wnioski	21
II Streszczenie.....	26
III Abstract.....	28
Aktywność naukowa i zawodowa doktorantki	30
Załączniki.....	32

Lista skrótów używanych w tekście:

BD – deficyt bilateralny

FPIT – Foot Posture Index Test
 F_x – maksymalna wartość siły reakcji podłoża –
składowa boczna
 F_y – maksymalna wartość siły reakcji podłoża – składowa pionowa
 F_z –
maksymalna wartość siły reakcji podłoża – składowa przednio-tylna

H:Q - wskaźnik stosunku momentów siły mięśni zginaczy stawu kolanowego do prostowników

H - hamstrings -mięśnie zginające staw kolanowy

Q - quadriceps – mięśnie prostujące staw kolanowy

LKD – lewa kończyna dolna

PKD – prawa kończyna dolna

PT – peak torque – szczytowy moment sił

PT/m - maksymalne momenty sił mięśniowych wyznaczanych względem masy

TPT – time to peak torque

I. Autoreferat w języku polskim

Podstawą rozprawy doktorskiej jest cykl publikacji pod wspólnym tytułem: „Biomechaniczna ocena zmian przeciążeniowych narządu ruchu u zawodników wyczynowo uprawiających kata w karate Shotokan”.

W skład dysertacji wchodzi dwie prace opublikowane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym.

1. Lisowska A, Murawa M, Ogurkowska M. Isokinetic assessment of knee joint muscles in shotokan karate kata athletes. Archives of Budo 2020;16: 61-66

Impact Factor - 1.014, punktacja MNiSW:100

2. Lisowska A, Fryzowicz A, Mączyński, Ogurkowska M. The ground reaction forces in basic stances in shotokan karate as an effective indicator in the prevention of lower limb pain in competitive athletes. Archives of Budo 2021;17: 177-184

Impact Factor - 1.014, punktacja MNiSW:100

Powyższe artykuły opracowano na podstawie wyników badań dofinansowanych w ramach projektu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Rozwój Młodych Pracowników Nauki”.

Wyniki badań wstępnych projektu, dotyczące weryfikacji problemu przeciążeń narządu ruchu wśród zawodników kata, przedstawiono w pracy:

Lisowska A, Ogurkowska M, Gabryelski J. Analysis of the occurrence of musculoskeletal pain in Shotokan karate kata athletes. J Combat Sports Martial Arts 2017; 8(2): 77-82, punktacja MNiSW: 7 – cytowania – 2.

Wstęp

Karate shotokan jest sztuką walki pochodzącą z Okinawy w Japonii, której założycielem jest Gichin Funakoshi. Na trening karate składa się: wykonywanie technik podstawowych (*kihon*), walka (*kumite*) oraz *kata*. *Kata* oznacza po japońsku „formę zasadniczą”. Jest to układ ściśle określonych ruchów do obrony i ataku, które imitują walkę z wieloma przeciwnikami, nacierającymi z różnych stron. Są to techniki opracowane przez wielkich mistrzów, które wykonuje się zawsze w tej samej kolejności (Słomski, Szych, 1979; Imamura et al, 2002; Sterkowicz-Przybycień, Grygiel, 2014). Znaczną część treningu karate zajmuje doskonalenie pozycji, co może mieć istotny wpływ na duże obciążenia stawów biodrowych i skokowych, a w szczególności kolanowych (Sorensen et al, 1996; Probst et al, 2007; Bar-On Cohen, 2009; Kotrljanovic et al, 2016). Do podstawowych pozycji karate shotokan, które najczęściej powtarzają się w *kata* są: *zenkutsu dachi*, *kokutsu dachi* i *kiba dachi* (Gaafar, 2015).

Poziom zaawansowania umiejętności karate jest nie tylko oceniany za pomocą egzaminów na poziom kyu lub dan, ale również poprzez uczestnictwo w rywalizacji sportowej (Hawrylak et al, 2017).

Rywalizacja sportowa na najwyższym poziomie najczęściej wymaga od zawodników określenia swojej specjalizacji do dyscypliny *kata* lub *kumite* (Gauchard et al, 2018), co powoduje również specyficzną adaptację organizmu. Zawodnicy startujący w konkurencji *kata* charakteryzują się wysoką siłą eksplozywną mięśni, równowagą i gibkością, co odgrywa kluczową rolę w tej dyscyplinie (Imamura et al, 1998; Giampietro et al, 2003; Chaabène et al, 2012; Lisowska et al, 2020). Najczęstszą lokalizacją dolegliwości bólowych wśród zawodników *kata* są stawy kończyn dolnych, a w szczególności stawy kolanowe (Lisowska et al, 2017).

Występowanie dolegliwości bólowych w stawach najczęściej związane jest z przeciążeniem otaczających ich struktur. Podczas badań epidemiologicznych przeciążeń ruchu w Polsce już w 1990 roku zauważono, że 1/3 populacji dorosłych cierpi z powodu schorzeń przeciążeniowych narządu ruchu. Proces ten ma tendencje postępujące, dotyczy coraz młodszych ludzi, nawet przed 30 rokiem życia (Kabsch, 1990; Ogurkowska, 2010). „Przeciążeniem narządu ruchu nazywamy taki zespół zjawisk, w którym działanie mechaniczne przekracza fizyczną wytrzymałość lub wydolność czynności mięśni, stawów, kości” (Świdorski, 1990). Do powstawania tego

typu schorzeń przyczynia się m.in. intensywne, wyczynowe uprawianie wielu dyscyplin sportowych (Zatsiorsky et al, 2006). W obecnych czasach obciążenia treningowe występujące w sztukach walki są porównywalne z występującymi w wielu dyscyplinach sportu wyczynowego (Ważny, 1994). Współczesne zasady współzawodnictwa przesadnie ukierunkowują sport młodzieżowy w stronę maksymalizacji osiągnięć już w najmłodszych kategoriach wieku. Doprowadza to do przedwczesnego wyeksploatowania młodocianych sportowców, którzy nie są w stanie czynić dalszych postępów, nader często dotykają ich przeciążenia i długotrwałe kontuzje (Sozański et al, 2010).

W wyniku wieloletniego powtarzania tych samych wzorców ruchowych może dojść do negatywnego zjawiska adaptacji organizmu do dyscypliny sportu, która niejednokrotnie objawia się jako dysbalans siły mięśni zginaczy i prostowników stawu kolanowego w obrębie tej samej kończyny dolnej oraz dysproporcja siły mięśni pomiędzy prostownikami i zginaczami obydwu kończyn dolnych (Kim et al, 2012; Nofal, 2003; Probst et al, 2007). Wskaźnikami weryfikującymi występowanie tych dysproporcji są: wskaźnik stosunku momentów siły mięśni zginaczy stawu kolanowego do prostowników (H:Q) oraz deficyt bilateralny (BD) (Dvir, 2004; Kong et al, 2010). Zmniejszenie siły mięśniowej zginaczy z powodu działań kładących nacisk na obciążenia prostowników kolana może prowadzić do dysbalansu mięśniowego pomiędzy hamstrings i quadriceps, który stanowi istotny czynnik ryzyka urazu stawu kolanowego (Rosene et al, 2001). Zachowanie balansu pomiędzy zginaczami i prostownikami stawu kolanowego ma istotne znaczenie w ogólnej stabilizacji stawu kolanowego (Croisier et al, 2008).

Wielokrotne wykonywanie dynamicznych przejść między pozycjami karate może przyczynić się do powstawania zmian przeciążeniowych w obszarze narządu ruchu zawodników, które mogą być wynikiem działania znacznych sił reakcji podłoża. Wykazanie związku pomiędzy występowaniem przykurczy mięśni kończyn dolnych u badanych oraz wielkością sił reakcji podłoża może okazać się kluczowe w zrozumieniu patobiomechanizmu zmian przeciążeniowych u karateków. Uzyskana wiedza będzie mogła zostać wykorzystana do rozwoju działań prewencyjnych minimalizując negatywne skutki treningów na stawy kończyn dolnych karateków.

Cel badań

Celem głównym pracy była biomechaniczna ocena zmian przeciążeniowych w obszarze narządu ruchu u zawodników wyczynowo uprawiających *kata* w karate shotokan.

Sformułowano następujące cele szczegółowe:

- Izokinetyczna ocena pracy mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego u wyczynowych zawodników *kata* (publikacja 1)
- Ocena funkcjonalna stawów kończyn dolnych oraz zbadanie prawidłowości ukształtowania stóp u zawodników *kata* (publikacja 2)
- Ocena poziomu obciążeń dynamicznych kończyn dolnych podczas przejść w podstawowych pozycjach karate poprzez pomiar siły reakcji podłoża (publikacja 2)
- Badanie związku między siłą reakcji podłoża podczas wykonywania dynamicznych przejść w trzech pozycjach *kata* a występowaniem przykurczów mięśniowych w obszarze kończyn dolnych u zawodników karate shotokan (publikacja 2)

Hipotezy badawcze

- Dolegliwości bólowe stawów kolanowych występujące u zawodników *kata* mogą wynikać z deficytów bilateralnych lub/i nieodpowiedniego dysbalansu między mięśniami grupy hamstrings i quadriceps (publikacja 1).
- U wieloletnich zawodników *kata* występują przykurcze mięśni w obrębie kończyn dolnych (publikacja 2).
- U zawodników wyczynowo uprawiających *kata*, składowe pionowe siły reakcji podłoża podczas wykonywania dynamicznych przejść w pozycjach podstawowych karate tj. *zenkutsu dachi*, *kokutsu dachi* i *kiba dachi*, osiągają wartości przewyższające ciężar ciała zawodników (publikacja 2).
- Osiągane przez zawodników większe wartości sił reakcji podłoża wykazują związek z występowaniem przykurczy mięśni obsługujących stawy kończyn dolnych. Może to powodować dolegliwości bólowe w trakcie lub po realizacji jednostki

treningowej, a w dłuższej perspektywie doprowadzić do zmian przeciążeniowych narządu ruchu (publikacja 2).

Material i metody badawcze

Material badawczy

Publikacja 1 - Lisowska A, Murawa M, Ogurkowska M. Isokinetic assessment of knee joint muscles in shotokan karate kata athletes. Archives of Budo 2020;16: 61-66

Badania przeprowadzono na grupie 15 zawodników biorących udział w konkurencji kata karate shotokan w wieku 25.9 ± 6.9 lat, ze średnim stażem treningowym 16.6 ± 4.1 lat. Grupę kontrolną stanowiło 15 studentów w wieku 22.6 ± 3.8 lat nietreningujących karate.

Publikacja 2 - Lisowska A, Fryzowicz A, Mączyński J et al. The ground reaction forces in basic stances in shotokan karate as an effective indicator in the prevention of lower limb pain in competitive athletes. Archives of Budo 2021;17: 177-184

Badaniami objęto grupę 15 zawodników biorących udział w konkurencji kata karate shotokan w wieku 27.5 ± 8 lat, ze średnim stażem treningowym 17.5 ± 4.8 lat.

Metody badawcze

Badania zostały zaakceptowane przez Komisję Bioetyczną Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu (Uchwała nr 624/15) i są zgodne z Deklaracją Helsińską. Wszyscy uczestnicy zostali szczegółowo poinformowani o badaniu i wyrazili pisemną zgodę poddania się procedurze badawczej.

Pomiary wstępne – badania ankietowe oraz badania pilotażowe

Przed badaniem podstawowym przeprowadzono badania ankietowe na grupie mężczyzn trenujących kata karate shotokan. Uzyskano 57 ważnych odpowiedzi. Wyniki badań wykazały występowanie dolegliwości bólowych narządu ruchu wśród 82% ankietowanych. Najczęstszą lokalizacją były stawy kolanowe (Lisowska et al, 2017).

Dane literaturowe przedstawiające technikę wykonania podstawowych pozycji kata porównano z nagraniami i zdjęciami, które zrobiono podczas badań pilotażowych

wielokrotnemu Mistrzowi Polski oraz wielokrotnemu medalistcie Mistrzostw Europy i Świata w konkurencji Kata Seniorów.

Do badań pilotażowych zakwalifikowano czterech wieloletnich zawodników konkurencji kata w karate shotokan. Trzech z nich było członkami kadry narodowej.

W ramach badań pilotażowych wykonano:

- tomografię komputerową odcinka lędźwiowego kręgosłupa,
- testy funkcjonalne: Test Patricka, Test Thomasa, Test Obera oraz Foot Posture Index,
- pomiar przodopochylenia miednicy za pomocą Cyrkla Wilesa,
- wykorzystując momentomierz JBA Zb. Staniak dokonano oceny momentów siły mięśniowej kończyn dolnych w warunkach statyki (zmierzone momenty siły mięśniowej zginaczy i prostowników stawów kolanowych oraz zginaczy i prostowników, a także odwodzicieli i przywodzicieli stawów biodrowych),
- pomiary trzech składowych sił reakcji podłoża podczas dynamicznych przejść w trakcie *kihonu* zawierającego *zenkutsu dachi age uke gyaku zuki, kiba dachi gedan barai* oraz *kokutsu dachi shuto uke* – platforma dynamometryczna KISTLER,
- badanie ruchomości kręgosłupa w płaszczyźnie czołowej, strzałkowej i poprzecznej wykorzystując elektrogoniometr oraz torsjometr firmy Noraxon,
- badanie aktywności mm. prostownika grzbietu odcinka lędźwiowego podczas ruchu wyprostu i zginania tułowia – EMG firmy Noraxon – typu TeleMyo 2400T G2,
- ocenę momentów siły mięśniowej stawów kolanowych w warunkach izokinetyki wykorzystując momentomierz BIODEX System 3.

Po dokładnej analizie uzyskanych danych z badań ankietowych oraz pilotażowych ustalono, że w ramach dwóch artykułów wchodzących w skład cyklu, będącego podstawą niniejszej rozprawy, przeprowadzone zostaną badania główne wyczynowych zawodników kata na stanowiskach pomiarowych oceniających zmiany przeciążeniowe przede wszystkim w obszarze stawów kończyn dolnych.

Publikacja 1 - Lisowska A, Murawa M, Ogurkowska M. Isokinetic assessment of knee joint muscles in shotokan karate kata athletes. Archives of Budo 2020;16: 61-66

Pomiary momentów sił mięśni kończyn dolnych w warunkach izokinetyki

Izokinetyczna ocena momentów sił rozwijanych przez mięśnie prostowniki i zginacze stawów kolanowych została przeprowadzona na grupie zawodników kata oraz grupie kontrolnej. Badanie przeprowadzono w dwóch prędkościach kątowych $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ i $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ za pomocą momentomierza Biodex System 3 (Biodex Medical Systems, Inc., Shirley, NY, USA). Pomiary zrealizowano w godzinach porannych w laboratorium biomechaniczno-kinezyjologicznym Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu. Przed testem izokinetycznym badani wykonali 10-minutową rozgrzewkę na rowerze stacjonarnym oraz indywidualny stretching. Diagnostykę poprzedzono dokładnym instruktażem oraz próbą wykonania prawidłowego ruchu. Podczas testu wykonywano ruchy zgięcia i wyprostu prawego, a następnie lewego stawu kolanowego z maksymalną siłą. W pierwszym etapie wykonywano 5 ruchów z prędkością $180^{\circ}\cdot s^{-1}$, a następnie 3 ruchy z prędkością $60^{\circ}\cdot s^{-1}$.

Do analizy wykorzystano maksymalne momenty sił mięśni odpowiedzialnych za ruch zgięcia i wyprostu stawu kolanowego unormowane do masy ciała oraz czas, w którym zostały one osiągnięte (TPT - time to peak torque).

Analiza deficytu bilateralnego (BD) uwzględniająca szczytowe momenty sił mięśni prostowników i zginaczy stawów kolanowych została wyliczona ze wzoru:

$$BD = (X_1 - X_2) * \frac{100\%}{X_1} \quad (1)$$

W równaniu (1) $X_1 > X_2$ określają wartości szczytowych momentów sił mięśniowych dla prawej i lewej kończyny dolnej.

Wyliczono również wartości wskaźnika stosunku zginaczy (H) do prostowników (Q) stawu kolanowego wykorzystując poniższy wzór:

$$H: Q = \frac{H}{Q} * 100\% \quad (2)$$

Analiza statystyczna

Wyniki badań poddano analizie statystycznej w programie Statistica 13.0. Przeprowadzono: parametryczny Test T-Studenta oraz nieparametryczny Test

kolejności par Wilcoxona, a także korelację Pearsona i korelację porządku rang Spearmana. Test Shapiro – Wilka sprawdzający zgodność rozkładu badanych parametrów z rozkładem normalnym. Dla zmiennych, które nie spełniły warunku rozkładu normalnego zastosowano nieparametryczny test U Manna – Whitneya. Jako krytyczny poziom istotności przyjęto $p \leq 0.05$.

Publikacja 2 - Lisowska A, Fryzowicz A, Mączyński J et al. The ground reaction forces in basic stances in shotokan karate as an effective indicator in the prevention of lower limb pain in competitive athletes. Archives of Budo 2021;17: 177-184

Pomiar sił reakcji podłoża podczas przejść w zenustu dachi, kiba dachi i kokutsu dachi

Do pomiaru sił reakcji podłoża podczas wykonywania przejść w pozycjach karate wykorzystano platformę piezoelektryczną firmy Kistler typ 9281C o wymiarach 40 x 60 cm. Typ wzmacniacza ładunku: 9865B1Y28; częstotliwość próbkowania pomiaru: 1000Hz; połączenie z komputerem poprzez 12-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy. Na platformie rejestrowano dane z kończyny wykroczonej w dynamicznych przejściach oddających warunki rywalizacji sportowej w konkurencji kata. Zmierzono trzykrotne przejścia na lewą i prawą stronę w pozycjach: 1) *Zenkutsu dachi ageuke gyakuzuki*; 2) *Kokutsu dachi shutouke*; 3) *Kiba dachi gedanbarai*. Do analizy wybranych pozycji uwzględniono maksymalne wartości trzech składowych siły reakcji podłoża: pionowej (F_y), przednio-tylnej (F_z) i boczno-przyśrodkowej (F_x). Wyniki zaprezentowano jako wartości siły względnej, czyli ilorazu maksymalnej siły reakcji podłoża do masy ciała zawodnika [N/kg].

Foot Posture Index Test

Dokonano również oceny prawidłowości ukształtowania stóp testem Foot Posture Index Test (FPIT). Podczas badania funkcjonalnego ocenie podlega 6 komponentów, które określają normy lub odstępstwa w kierunku pronacji lub supinacji stóp: 1) Badanie palpacyjne głowy kości skokowej; 2) Krzywizny nad i pod kostką boczną; 3) Ustawienie supinacyjne/pronacyjne kości piętowej; 4) Wybrzuszenie w stawie skokowo-łódkowym; 5) Ukształtowanie łuku podłużnego przyśrodkowego; 6) Odwodzenie/ przywodzenie przodostopia względem tyłostopia (Keenan et al, 2007).

Testy funkcjonalne

Testy funkcjonalne weryfikujące występowanie przykurczy mięśniowych w obrębie kończyn dolnych zrealizowano poprzez Test Thomasa, Test Patricka oraz Test Obera.

Analiza statystyczna

Do wszystkich badania obejmujących analizę statystyczną wykorzystano program Statistica 13.0. Za pomocą testu Shapiro-Wilka zweryfikowano występowanie rozkładów normalnych. Następnie przy braku rozkładów normalnych do analizy wykorzystano nieparametryczną korelację Rang Spearmana. Test U Manna-Whitneya wykorzystano do wykazania statystycznej istotności różnic median sił reakcji podłoża kończyn dolnych dla dwóch grup zawodników (z przykurczami mięśniowymi oraz bez). Dla wykazania różnic pomiędzy siłami reakcji podłoża w poszczególnych pozycjach wykorzystano test HSD Tukeya. W pracy wykazywano istotność statystyczną różnic na poziomie ($p < 0.05$).

Wyniki oraz ich omówienie

Publikacja 1 - Lisowska A, Murawa M, Ogurkowska M. Isokinetic assessment of knee joint muscles in shotokan karate kata athletes. Archives of Budo 2020;16: 61-66

Wyznaczony bilateral deficit maksymalnych momentów sił mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego (BD) badanych zawodników przy prędkości kątowej $60^\circ \cdot s^{-1}$ mieścił się poniżej 10% (norma systemu Biodex). BD mięśni hamstrings wynosił $8.66 \pm 5.91\%$ i quadriceps $7.95 \pm 5.91\%$. Wykazano natomiast, że wraz ze wzrostem współczynnika stażu rośnie BD mięśni quadriceps przy prędkości kątowej $60^\circ \cdot s^{-1}$ ($r=0.527$; $p=0.043$).

Średnie wyniki H:Q dla badanych zawodników przy prędkości $60^\circ \cdot s^{-1}$ wynosiły dla prawej kończyny dolnej (PKD) $58.63 \pm 9.13\%$, oraz lewej kończyny dolnej (LKD) $54.75 \pm 6.9\%$. Dodatkowo wykazano, że staż treningowy nie wpływa statystycznie istotnie na zmniejszanie się wskaźnika H:Q przy prędkości $60^\circ \cdot s^{-1}$. Może to świadczyć o zastosowaniu prawidłowego treningu angażującego zarówno zginacze, jak i prostowniki stawów kolanowych. Wskaźnik stosunku momentu siły mięśniowej zginaczy stawu kolanowego do prostowników stawu kolanowego H:Q w warunkach izokinytyki powinien wynosić około 60% (Karen 1988). Dane literaturowe podają

również, że prawidłowy wskaźnik proporcji momentów sił H:Q dla zdrowego kolana powinien się mieścić w zakresie od 50% do 80% (Rosene et al. 2001, Andrade et al. 2012, Evangelidis 2015). W tym miejscu należy podkreślić, że obniżona siła mięśni hamstrings w stosunku do mięśni quadriceps mogłaby doprowadzić do podwyższonego ryzyka powstawania urazów stawów kolanowych (Aagard et al, 1998; Hewett, et al, 2008). Analiza wskaźnika H:Q badanych karateków nie wykazała nieprawidłowości.

Porównanie średnich wartości wskaźnika H:Q dla PKD dla prędkości kątowej $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ wykazało, że wyniki uzyskane przez zawodników karate są istotnie statystycznie większe ($p=0.039$) od grupy kontrolnej. Również średnie wartości wskaźnika H:Q LKD dla prędkości kątowej $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ są istotnie statystycznie większe u zawodników karate ($p=0.023$).

Porównując natomiast otrzymane w niniejszej pracy wartości maksymalnych momentów sił mięśniowych wyznaczanych względem masy (PT/m) w grupie zawodników kata z wynikami podobnych badań, które wcześniej opisano w literaturze a przeprowadzono na karatekach, jednak reprezentujących Serbię oraz USA, należy stwierdzić, że wartości PT/m dla mięśni quadriceps są zbliżone. Polacy przy prędkości kątowej $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ uzyskali wyniki dla prawej kończyny dolnej $2.75\pm 0.42 Nm\cdot kg^{-1}$ oraz dla lewej $2.86\pm 0.31 Nm\cdot kg^{-1}$. Najlepsi zawodnicy karate z Serbii dla tej samej prędkości kątowej uzyskali dla prawej kończyny dolnej $2.72\pm 0.44 Nm\cdot kg^{-1}$ oraz lewej $2.76\pm 0.46 Nm\cdot kg^{-1}$ (Kotrljanovic et al. 2016), a zawodnicy z USA $2.8\pm 0.3 Nm\cdot kg^{-1}$ dla prawej kończyny dolnej i $2.8\pm 0.2 Nm\cdot kg^{-1}$ dla lewej (Probst et al. 2007). Średnie wartości PQ/m mięśni hamstrings dla grupy zawodników były najwyższe u karateków z Serbii (prawa $1.86\pm 0.29 Nm\cdot kg^{-1}$, lewa $1.83\pm 0.44 Nm\cdot kg^{-1}$) (Kotrljanovic et al. 2016), USA (prawa $1.8\pm 0.3 Nm\cdot kg^{-1}$, lewa $1.7\pm 0.3 Nm\cdot kg^{-1}$) (Probst et al. 2007). Zauważalnie niższe wyniki uzyskali Polacy (prawa $1.61\pm 0.32 Nm\cdot kg^{-1}$, lewa $1.56\pm 0.23 Nm\cdot kg^{-1}$). Wyniki te mają bezpośrednie przełożenie na wartości wskaźnika H:Q, które u karateków z Serbii wynosiły (prawa 68.89 ± 6.81 , lewa 66.56 ± 12.14) (Kotrljanovic et al. 2016) oraz USA (prawa 62.8 ± 8.5 , lewa 60.2 ± 8.6) (Probst et al. 2007). Pomimo zauważalnych różnic wszystkie wyniki wskaźnika H:Q ww. grup zawodników uzyskały prawidłowe wartości względem normy literaturowej. Zarówno w badaniu Lisowskiej, jak i Kotrljanovic badanie obejmowało wieloletnich zawodników karate najwyższego szczebla, jednakże wśród Serbów byli jedynie zawodnicy kumite (Kotrljanovic et al. 2016). Natomiast Probst w swojej grupie badawczej uwzględnił zawodników kata i kumite - 5 mężczyzn

i 4 kobiety o mniejszym stażu treningowym i niższym stopniu zaawansowania od zielonego do czarnego pasa (Probst et al. 2007).

Porównując wyniki momentów sił mięśniowych z innych dyscyplin sportów walki możemy zaobserwować wyraźne różnice. Dla prędkości kątowej $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ zawodnicy kata uzyskali wartości momentów sił mięśniowych względem masy podczas wyprostu stawu kolanowego (prawa $2.19\pm 0.36 Nm\cdot kg^{-1}$; lewa $2.23\pm 0.45 Nm\cdot kg^{-1}$) bardzo zbliżone jak zawodnicy taekwondo (prawa $2.21\pm 0.39 Nm\cdot kg^{-1}$; lewa $2.22\pm 0.42 Nm\cdot kg^{-1}$). Natomiast bokserzy uzyskali niższe wartości (prawa $1.75\pm 0.43 Nm\cdot kg^{-1}$; lewa $1.8\pm 0.34 Nm\cdot kg^{-1}$) (Mavi Var 2019). Maksymalne momenty sił mięśniowych zginaczy stawu kolanowego względem masy u zawodników karate były najniższe i wynosiły (prawa $1.24\pm 0.23 Nm\cdot kg^{-1}$; lewa $1.3\pm 0.29 Nm\cdot kg^{-1}$) u zawodników taekwondo (prawa $1.7\pm 0.27 Nm\cdot kg^{-1}$; lewa $1.64\pm 0.22 Nm\cdot kg^{-1}$) i u bokserów (prawa $1.42\pm 0.4 Nm\cdot kg^{-1}$; lewa $1.37\pm 0.3 Nm\cdot kg^{-1}$).

Należy zauważyć, iż zarówno przy prędkości $60^{\circ}\cdot s^{-1}$, jak i $180^{\circ}\cdot s^{-1}$ wyniki zginaczy stawów kolanowych badanych zawodników kata charakteryzowały się niższymi wartościami względem innych badań na karatekach czy też zawodnikach taekwondo i bokserów. Najprawdopodobniej przyczyną jest charakterystyczny dla kaciarzy trening pozycji tj. *zenkutsu dachi*, *kiba dachi* i *kokutsu dachi* angażujący przede wszystkim mięśnie quadriceps.

Jednakże specyfika tej dyscypliny nie wymaga od zawodników osiągnięcia ponadprzeciętnych wartości PT mięśni kończyn dolnych. W tym miejscu należy podkreślić, że u badanej grupy sportowców uzyskano tendencje do istotności mniejszych wartości PT/m mięśni quadriceps dla obydwu kończyn przy prędkości $60^{\circ}\cdot s^{-1}$, w porównaniu z grupą kontrolną, którą stanowili aktywni fizycznie mężczyźni.

Zgodnie z przepisami zawodów The World Karate Federation (WKF) na rok 2019 system oceny kata podczas rywalizacji sportowej składa się w 70% dla technicznego wykonania i 30% dla atletycznego zaprezentowania układu. W związku z powyższym proces nauczania opiera się przede wszystkim na nauce prawidłowych technik, a w dalszej kolejności na wykonaniu poszczególnych elementów kata w jak najkrótszym czasie. Dynamiczne przejścia pomiędzy pozycjami, po których następuje zatrzymanie się w stabilnej pozycji możliwe jest poprzez bardzo szybkie naprzemienne napinanie i rozluźnianie zaangażowanych mięśni. Pomiar czasu (TPT - time to peak

torque), pozwala na weryfikację jak szybko mięśnie hamstrings i quadriceps osiągają maksymalny moment siły.

Badani kaciarze z Polski osiągnęli krótszy TPT dla prędkości $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ niż zawodnicy z USA (Probst et al.2007). U Polskich zawodników kata quadriceps TPT wyniosły (prawa $424\pm 86ms$, lewa $430\pm 90ms$). U Amerykanów quadriceps TPT wyniosły (prawa $554\pm 75ms$, lewa $556\pm 76ms$). Dla mięśni hamstrings TPT różnica była nieco mniejsza, u Polaków (prawa $394\pm 132ms$, lewa $428\pm 165ms$), u Amerykanów (prawa $483\pm 100ms$, lewa $443\pm 90ms$).

Prawdopodobnie różnica tego parametru wynikała ze specyfiki badań przeprowadzonych na zawodnikach z USA, gdyż prezentowane wartości średnie mierzonych parametrów uzyskane zostały łącznie dla kobiet i mężczyzn (Probst et al.2007).

Publikacja 2 - Lisowska A, Fryzowicz A, Mączyński J et al. The ground reaction forces in basic stances in shotokan karate as an effective indicator in the prevention of lower limb pain in competitive athletes. Archives of Budo 2021;17: 177-184

Siły reakcji podłoża występujące w podstawowych pozycjach karate istotnie statystycznie się od siebie różnią ($p<0.05$). Najwyższe maksymalne wartości sił reakcji podłoża badanych zawodników kata uzyskano podczas pomiaru składowej pionowej w pozycji *zenkutsu dachi*. Średnie wartości względnych sił reakcji wynosiły dla LKD $31.7\pm 9.1 N/kg$ oraz PKD $33.4\pm 8.2 N/kg$. Wyższe wartości były generowane przez PKD we wszystkich trzech pozycjach. W pozycji *zenkutsu dachi* zaobserwowano istotnie statystycznie większe wartości składowej pionowej PKD względem LKD w pozycji *kiba dachi* ($p=0.019$). Dodatkowo zaobserwowano tendencję do istotnie statystycznie większych wartości pionowych sił reakcji podłoża w pozycji *zenkutsu dachi* względem pozycji *kiba dachi* dla LKD ($p=0.096$) oraz PKD ($p=0.069$).

Wykazano, że w pozycji *zenkutsu dachi* boczno-przyśrodkowe siły reakcji podłoża są istotnie statystycznie wyższe od sił mierzonych w pozycji *kokutsu dachi* dla LKD ($p=0.01$) oraz dla PKD ($p=0.007$). Różnice tych sił pomiędzy LKD w pozycji *zenkutsu dachi* a PKD w pozycji *kokutsu dachi* ($p=0.018$), a także PKD w pozycji *zenkutsu dachi* a LKD w pozycji *kokutsu dachi* ($p=0.004$), są również istotne statystycznie.

W pozycji *kokutsu dachi* przednio-tylne siły reakcji podłoża PKD wykroczonej są istotnie statystycznie wyższe od LKD w pozycji *zenkutsu dachi* ($p=0.033$), a także od prawej przy pozycji *zenkutsu dachi* ($p=0.023$). Pomimo tego, że w płaszczyźnie przednio-tylnej największe wartości występują w pozycji *kokutsu dachi*, to należy zwrócić szczególną uwagę na wartości uzyskiwane w pozycji *kiba dachi*, ponieważ kończyny dolne w tej pozycji ustawione są bokiem względem kierunku poruszania się zawodnika.

Spośród 15 badanych zawodników karate shotokan czterech uzyskało w teście Foot Posture Index Test (FPIT) wynik odbiegający od normy. We wszystkich przypadkach odstępstwa od normy występowały symetrycznie w obydwu stopach. U dwóch zawodników zdiagnozowano ustawienie stóp w nadmiernej supinacji i u dwóch ustawienie stóp w nadmiernej pronacji.

Podczas badań przeprowadzono testy funkcjonalne mięśni kończyn dolnych. Zweryfikowanie występowania przykurczów badanych mięśni pozwoliło na porównanie względnych sił reakcji podłoża w zależności od występowania bądź braku występowania przykurczu mięśniowego.

Nie u wszystkich zawodników przykurcze mięśniowe występowały symetrycznie. Test Thomasa wykazał występowanie przykurczy mięśnia prostego uda (93% prawego; 87% lewego). Odsetek występowania przykurczów mięśni odwodzicieli stawu biodrowego w badanej grupie jest różny. W zależności od zastosowanego testu funkcjonalnego wykazał on odpowiednio (test Thomasa 40% prawa, 53% lewa; test Obera 33% prawa, 40% lewa). Występowanie przykurczów przywodzicieli stawu biodrowego wykazano na poziomie (60% prawa; 73% lewa) za pomocą testu Patricka.

Analizując wartości median sił reakcji podłoża, które uzyskano dla wybranych pozycji u karateków z przykurczami mięśniowymi i bez oraz z podziałem na kończyny dolne lewą/prawą należy stwierdzić, że w pozycji *zenkutsu dachi* u zawodników, u których test Obera wykazał przykurcz mięśniowy prawej kończyny, ustalono istotnie statystycznie większe względne wartości median sił reakcji podłoża dla składowej przednio-tylnej ($p=0.024$). Co więcej, w pozycji *kokutsu dachi* statystycznie istotną wyższą wartość mediany względnej siły reakcji podłoża lewej kończyny dla składowej przednio-tylnej osiągnęła grupa zawodników z wykazaniem przykurczem mięśnia prostego uda ($p=0.034$) oraz grupa z przykurczem odwodzicieli stawu biodrowego

($p=0.039$). Ponadto, w pozycji *kiba dachi* statystycznie istotną większą wartość mediany względnej siły reakcji podłoża prawej kończyny dla składowej przednio-tylnej wykazano u mężczyzn z przykurczem mięśni odwodźcicieli stawu biodrowego (test Thomasa $p=0.008$). Podobny efekt uzyskano dla prawej kończyny i składowej boczno-przyśrodkowej w teście Obera ($p=0.024$).

Generowane siły reakcji podłoża podczas wykonywania dynamicznych przejść w podstawowych pozycjach karate istotnie statystycznie różnią się. W pozycjach *zenkutsu dachi* i *kokutsu dachi* ich składowe pionowe osiągają wartości ponad 3-krotnie przewyższające ciężar ciała zawodników. Jednocześnie należy zauważyć, że układ ruchu człowieka jest łańcuchem biokinematycznym, co w konsekwencji powoduje, że tak silne oddziaływanie stóp na podłoże, przyczynia się do obciążenia następujących kolejno po sobie stawów: skokowych, kolanowych, biodrowych, a następnie kręgosłupa.

Na przestrzeni lat kata ewoluowało przede wszystkim w sposobie wykonywania podstawowych pozycji kata. Masatoshi Nakayama, bezpośredni uczeń Gichina Funakoshiego podaje, że odległość pomiędzy stopami w pozycjach *zenkutsu dachi*, *kiba dachi* i *kokutsu dachi* powinna wynosić ok. 80cm (Nakayama, 1999). W praktyce odległość pomiędzy stopą wykroczną i zakroczną zależy od wzrostu oraz umiejętności poszczególnych zawodników (Gaafar, 2015; Lisowska et al, 2017). W pozycji *zenkutsu dachi* staw kolanowy nogi wykrocznej jest zgięty, zakrocznej wyprostowany. Kręgosłup w pozycji wertykalnej. Stopy ustawione na szerokość bioder. Ciężar ciała w 60% spoczywa na kończynie wykrocznej, 40% na zakrocznej (Nakayama, 1999). Porównując trzy podstawowe pozycje karate zauważamy, że to właśnie w tej pozycji najbardziej obciążona jest kończyna wykroczna, co analogicznie przekłada się na uzyskanie największej wartości składowej pionowej. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że występowanie przykurczów mięśni odwodźcicieli uda wpływa na zwiększenie sił reakcji podłoża we wszystkich trzech składowych. W związku z powyższym istotne jest zwrócenie uwagi na rozciąganie tych mięśni w celu minimalizowania obciążeń.

W pozycji *kokutsu dachi* ważne jest zgięcie stawu kolanowego kończyny zakrocznej. Przednia stopa powinna być skierowana do przodu. Kąt pomiędzy stopami powinien być zbliżony do prostego. Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi w 2019

roku odległość pomiędzy stopami zawodników powinna wynosić maksymalnie 91 cm w konkurencji seniorów (Ardelean et al, 2019). Rozłożenie ciężaru ciała powinno w 70% spoczywać na kończynie zakroczej a 30% na kończynie wykroczej (Nakayama, 1999). Wymieniony wyżej rozkład ciężaru ciała ma swoje odzwierciedlenie w istotnie statystycznie niższych wartościach sił reakcji podłoża składowej boczno-przyśrodkowej. W przeprowadzonych badaniach analiza przypadku wykazała, że zawodnicy, u których stopy są ustawione w nadmiernej supinacji, wykazują statystycznie istotnie niższe wartości składowej przednio-tylnej sił reakcji podłoża kończyny wykroczej dla pozycji kokutsudachi. Natomiast istotnie statystycznie wyższe wartości względnej siły reakcji podłoża składowej przednio-tylnej w pozycji kokutsu dachi zaobserwowano w grupie z występującym przykurczem mięśni prostych uda oraz odwodzicieli stawów biodrowych. Niwelowanie występowania przykurczów tych mięśni powinno pozytywnie wpłynąć na stabilizację tej pozycji.

W pozycji *kiba dachi* oba stawy kolanowe są zgięte a ciężar ciała równo spoczywa na obydwu kończynach. Aby wykonać niską pozycję i jednocześnie skierować stopy do wewnątrz konieczne jest zwiększenie naturalnego zakresu ruchomości stawów (Lisowska et al, 2017). Należy wziąć pod uwagę, że pozycja *kiba dachi* może być niezdrowa i niebezpieczna (Bar-On Cohen, 2009). Wykonywanie przejść w warunkach zbliżonych do rywalizacji sportowej w pozycji *kiba dachi* charakteryzuje się wysokim ryzykiem powstawania zmian przeciążeniowych w stawach kolanowych. Stawy te anatomicznie przystosowane są do wykonywania głównie ruchów zawiasowych zginania i prostowania. Przemieszczanie się w pozycji *kiba dachi* odbywa się z bocznym ustawieniem stóp względem kierunku ruchu, co jest nienaturalne. Za szczególnie niebezpieczne uznaje się występowanie sił składowych przednio-tylnych, które wywołują zewnętrzny moment sił oddziaływający szpotawiająco na stawy kolanowe. Wartości tej składowej przekraczają ciężar ciała zawodników. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że zawodnicy, u których stwierdzono obecność przykurczów mięśni odwodzicieli stawów biodrowych wygenerowali istotnie statystycznie większe wartości tych sił. Może to świadczyć o tym, że mięśnie te z uwagi na skrócenie nie są w stanie zatrzymać kończyny wykroczej podczas dynamicznego przejścia, co powoduje większą amplitudę przemieszczenia się środka ciężkości.

Według przeprowadzonych badań zawodnicy, u których stopy są ustawione w nadmiernej pronacji, charakteryzują się statystycznie istotnie większą wartością składowej przednio-tylnej siły reakcji podłoża w pozycji kibandachi, co może świadczyć o mniejszej stabilności pozycji w tym kierunku. Z drugiej strony może to właśnie 14 i 22 letni staż treningowy, który opierał się na wielokrotnym dynamicznym wykonywaniu pozycji kibandachi, doprowadził do powstania zmian w ukształtowaniu stóp w kierunku pronacji u tych zawodników. Do potwierdzenia tej hipotezy konieczne jest przeprowadzenie badań na większej liczbie zawodników. Badania pionowych sił reakcji podłoża przeprowadzone w Iranie wykazały, że szpotawość stawów kolanowych może być uznane za faktyczny czynnik przyczyniający się do urazów narządu ruchu wśród profesjonalnych zawodników karate (Sadeghi et al, 2017).

Wielokrotny Mistrz Świata w konkurencji kata (Luca Valdesi) ze wzrostem 178 cm wykonuje pozycję *zenkutsu dachi* z odległością horyzontalną pomiędzy piętami wynoszącą 103 cm, *kokutsu dachi* 97 cm oraz *kiba dachi* 117 cm. Gafaar zaproponował wzór na osiągnięcie idealnych długości pozycji poprzez uwzględnienie poziomych i pionowych odległości, które powinny zostać zastosowane w podstawowych pozycjach kata, uwzględniając parametry osiągnięte przez mistrza świata (Gaafar, 2015). Niestety nie jest znany dokładny wzrost Masatoshi Nakayama. Przyjmując średni wzrost Japończyków w jego czasach (161 cm) wg Japońskiego Biura Statystycznego Ministerstwa Spraw Wewnętrznych oraz stosując wzór zaproponowany przez Gafaar'a, to można jednoznacznie zauważyć, że zgodnie z panującymi trendami mistrz musiałby wydłużyć swoje pozycje o 10 - 33%. Forma, w jakiej przyjmowane są pozycje karate niewątpliwie ma swoje odzwierciedlenie w generowanych siłach oddziałujących na podłoże.

Weryfikacja sił reakcji podłoża w różnych dyscyplinach sportowych jest powszechnie stosowaną metodą badawczą (Fryzowicz et al 2018). Dla porównania wartości sił składowej pionowej podczas biegu boso wynosi 23.4 N/kg przy prędkości nie mniejszej niż 4 m/s (Monaldi et al, 2019). Wraz ze wzrostem prędkości biegu rośnie wartość składowej pionowej siły reakcji podłoża, przy prędkości 6 m/s⁻¹ wynosi 25 N/kg (Keller et al, 1996). Według przeprowadzonych badań dynamicznie wykonywane pozycje karate znacznie przewyższają te wartości osiągając średnie wartości maksymalnych sił składowych pionowych nawet 33.4 N/kg. Jednakże wykonywanie ciosów prostych (*zuki*) w pozycji *zenkutsu dachi* generuje większą siłę uderzenia niż

w naturalnej wysokiej pozycji (de Souza et al, 2018). Świadczy to, że niskie pozycje karate istotnie wpływają na zwiększenie siły ciosu, dlatego też przyjmowanie ich jest uzasadnione.

Należy podkreślić, że ocena sił reakcji podłoża wśród zawodników kata karate shotokan może pozwolić na weryfikację poprawności wykonywanej techniki. Dodatkowo może być kluczowym narzędziem w celu doskonalenia umiejętności zawodnika, w kierunku stabilizacji postawy i minimalizowania wartości sił reakcji podłoża. Wyniki badań porównujące kontrolę postawy wśród wysokiego szczebla karateków wykazały, że zawodnicy kata charakteryzują się lepszą stabilnością pozycji od zawodników kumite (Gauchard et al, 2018).

Rozciąganie w jednostce treningowej karate jest nieodłącznym elementem. Najczęściej jako element rozgrzewki oraz równie często wykonywany na koniec treningu w celu zwiększenia i/lub podtrzymania gibkości (Kurt, 2015). Świadomość istotności rozciągania mięśni wśród uprawiających tę dyscyplinę jest bardzo wysoka. Jednakże przeprowadzone badanie wykazało, że odsetek osób ze zmianami funkcjonalnymi w obrębie kończyn dolnych jest bardzo wysoki. Wieloletni trening kata w karate shotokan może doprowadzić do występowania zmian adaptacyjnych do tej dyscypliny, w związku z tym należy jeszcze większą uwagę poświęcić prewencji poprzez wprowadzenie cyklicznych badań stanu narządu ruchu i zastosowaniu odpowiedniego treningu na podstawie uzyskanych wyników.

Wnioski

- U zawodników uprawiających wyczynowo karate shotokan stwierdza się występowanie prawidłowych proporcji momentów sił rozwijanych przez mięśnie zginacze i prostowniki stawów kolanowych. Dodatkowo wykazano, że staż treningowy nie wpływa statystycznie istotnie na ich zmianę, co może świadczyć o zastosowaniu prawidłowych ćwiczeń angażujących grupę mięśni obsługujących stawy kolanowe w ramach procesu treningowego (publikacja 1).
- Mięśnie obsługujące stawy kolanowe zarówno lewej, jak i prawej kończyny rozwijają zbliżone maksymalne momenty sił mięśniowych. Brak deficytu bilateralnego świadczy o podobnym obciążeniu kończyn dolnych podczas treningu. Nie jest to zatem czynnik, który w sposób bezpośredni powoduje zmiany przeciążeniowe, objawiające się dolegliwościami bólowymi wśród zawodników. Jednakże parametr ten należy kontrolować, ponieważ wykazano, że wartość deficytu bilateralnego rośnie wraz z długością stażu treningowego (publikacja 1).
- Występowanie przykurczy mięśni kończyn dolnych istotnie statystycznie wpływa na zwiększenie generowanych sił reakcji podłoża podczas wykonywania dynamicznych przejść w podstawowych pozycjach karate (publikacja 2).
- Za najbardziej niebezpieczną pozycję uznaje się *kiba dachi*, w której ustawienie stóp jest prostopadłe względem kierunku ruchu. Dynamiczne wykonanie przejścia w tej pozycji staje się szczególnie patogenne dla stawów kończyn dolnych, w związku z wielkością składowej przednio-tylnej siły reakcji podłoża, która przewyższa ciężar ciała zawodnika (publikacja 2).
- Działania prewencyjne zawodników karate shotokan powinny skupiać się na ograniczeniu przykurczów mięśni oraz zmniejszeniu generowanych sił reakcji podłoża poprzez wielokrotne powtórzenia ćwiczeń kata z użyciem platform pomiarowych (publikacja 2).

Piśmiennictwo / References

1. Aagard P, Simonsen EB, Magnusson SP, et al. (1998) A new concept for isokinetic hamstring: Quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med* 26: 231-237.
2. Andrade MS, De Lira CA, Koffes FC, et al. (2012) Isokinetic hamstrings to quadriceps peak torque ratio: the influence of sport modality, gender, and angular velocity. *J Sports Sci*; 30: 547-553
3. Ardelean VP, Hillerin PJ, Andrei VL et al. (2019) Kinematic analysis of lower limbs movement in some karate techniques. *Eur Proc Soc Behav Sci*; 53-59
4. Bar-On Cohen E. (2009) Kibadachi in karate: pain and crossing boundaries within the 'lived body' and within sociality. *Journal of the Royal Anthropological Institute*; 15:610–629.
5. Chaabène H, Hachana Y, Franchini E, Mkaouer B, Chamari K. (2012) Physical and Physiological Profile of Elite Karate Athletes. *Sports Med.*; 42: 829–843.
6. Croisier J.L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J.M. (2008) Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study, *American Journal of Sports Medicine*, 36(8): 1469-1475.
7. de Souza AV, Viero TF, Marques AM et al. (2015) Weight distribution in karate stances: a comparison between experimental and postulated values. *Arch Budo*; 11: 351-358
8. Dvir Z. (2004) *Isokinetics Muscle testing, interpretation and clinical applications*. 2nd Edition. London, A Churchill Livingstone.
9. European Shotokan Karate-Do Association Competition Rules. Version 3.1, Nov 2017 [accessed 2020 Jul 06]. Available from URL: https://jka-karate.ch/cms1/images/download/schiedsrichter/ESKA_Rules_2017.pdf
10. Evangelidis PE, Pain MT, Folland J. (2015) Angle specific hamstring to quadriceps ratio: a comparison of football players and recreationally active males. *J Sports Sci* 2015; 33: 309-319
11. Fryzowicz A, Murawa M, Kabaciński J et al. (2018) Reference values of spatiotemporal parameters, joint angles, ground reaction forces, and plantar pressure distribution during normal gait in young women. *Acta Bioeng Biomech*; 20(1): 49-57
12. Gaafar A. (2015) Standard Rate for Some Basic Stances in Karate. *Journal of Applied Sports Science*; 5, 2 .

13. Gauchard G, Lion A, Bento L, Perrin P, Ceyte H. (2018) Postural control in high-level kata and kumite karatekas. *Movement & Sport Sciences / Science & Motricité*, 100: 21-26.
14. Giampietro M, Pujia A, Bertini I. (2003) Anthropometric features and body composition of young athletes practicing karate at a high and medium competitive level. *Acta Diabetol*; 40:145-148.
15. Hawrylak A, Chromik K, Barczyk-Pawelec K, Demczuk-Włodarczyk E. (2017) The spine mobility of karate master class contestants. *Arch Budo*; 13: 343-350
16. Hewett TE, Myer GD, Zazulak BT. (2008) Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *J Sci Med Sport* 11: 452-459.
17. Imamura H, Yoshimura Y, Nishimura S et al. (2002) Physiological responses during and following karate training in women. *J Sports Med Phys Fitness*; 42: 431-437 ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12391437
18. Imamura H, Yoshimura Y, Uchida K, Nishimura S, Nakazawa AT. (1998) Maximal oxygen uptake, body composition and strength of highly competitive and novice karate practitioners. *Appl Human Sci*; 17: 215-218.
19. Kabaciński J, Murawa M, Żyła T et al. (2017) Isokinetic evaluation of hamstrings and quadriceps eccentric muscles strength in volleyball players. *Aktual Probl Biomech*; 12: 35-40
20. Kabsch A. (2002) Biomechanical bases of ergonomical optimization of the Man-Workstand system in prevention of motor system overload. W: Pacholski LM, Marcinkowski JS, Horst W. *Occupational Risk in Didactic Learning and Training of Ergonomics, Work Safety and Labor Protection*. Monograph Publ. Inst. of Management Engineering. Poznań: PUT; 143-170.
21. Karen D, Nunn MA, Mayhew JL. (1998) Comparison of Three Methods of Assessing Strength Imbalances at the Knee. *J Orthop Sport Phys*; 10: 134-137
22. Keenan AM, Redmond AC, Horton M, Conaghan PG, Tennant A. (2007) The Foot Posture Index: Rasch analysis of a novel, foot-specific outcome measure. *Arch Phys Med Rehabil*; 88:88–93.
23. Keller TS, Weisberger AM, Ray JL et al. (1996) Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 11(5): 253-259

24. Kim JH, Kim IH, Lee JU, et al. (2012) Change of muscular activity and dynamic stability of the knee joint due to excessive and repetitive jumping or cutting by female athletes. *J Phys Ther Sci* 24: 715-719.
25. Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH et al. (1991) Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med*;19: 76-81
26. Kong PW, Burns SF. (2010) Bilateral difference in hamstrings to quadriceps ratio in healthy males and females. *Physical Therapy in Sport* 11(1): 12-17.
27. Kotrljanovic A, Atanasov D, Veljovic D, et al. (2016) An isokinetic profile in senior female and male karate athletes national team level. *Arch Budo Sci Martial Art Extreme Sport* 12: 203-210.
28. Kurt C. (2015) Alternative to traditional stretching methods for flexibility enhancement in well trained combat athletes: local vibration versus whole-body vibration. *Biol Sport*; 32(3): 225-233
29. Lisowska A, Ogurkowska B, Gabryelski J. (2017) Analysis of the occurrence of musculoskeletal pain in Shotokan karate kata athletes, *Journal of Combat Sports and Martial Arts*, 8(2): 77-82.
30. Lisowska A, Murawa M, Ogurkowska M (2020). Isokinetic assessment of knee joint muscles in shotokan karate kata athletes. *ARCH BUDO*. 2020;16.
31. Mavi Var S. (2019) Examination of Bilateral and Unilateral Isokinetic Leg Strengths of Taekwondo Athletes and Boxers. *J Educ Learn*; 8(1): 272-276
32. Monaldi M, Alters M, Bowen Ch et al.(2017) Biomechanic Analysis of Barefoot vs. Shod Running. *Aquila*
33. Nakayama M. (1999) *Dynamiczne Karate*. Bydgoszcz: Diamond Books; [in Polish]
34. Nofal G. (2003) Isokinetic eccentric-to-concentric strength ratios of the shoulder rotator muscles in throwers and non-throwers. *Am. J. Sports Med.* 31: 537–541.
35. Ogurkowska MB. (2010) Analysis of radiological characteristics distribution in the vertebral bodies of the lumbosacral spine of competitive rowers. *Biology of Sport*; 27:213-219.
36. Probst M, Fletcher R, Seelig D. (2007) A comparison of lower body flexibility, strength, and knee stability between karate athletes and active controls. *J Strength Cond Res* 21: 451-455.

37. Rosene JM, Fogarty TD, Mahaffey BL. (2001) Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes, *Journal of Athletic Training* 36(4): 378-383.
38. Sadeghi H, Shirvanipour S, Mimar R. (2017) The Comparison of Vertical Ground Reaction Force during Forward and Backward Walking among the Elites of Male Karatekas with Genu Varum and Normal. *J Sport Biomech*; 3(1): 37-46
39. Słomski G, Szych M. (1979) Karate-Do według Szkoły Shotokan systematyka i metodyka [In Polish] [Karate-Do Shotokan School of systematics and methodology]. *Akademia Wychowania Fizycznego w Poznaniu*; 92-93.
40. Sorensen H, Zacho M, Simonsen E, et al. (1996) Dynamics of martial arts high frontal kick. *J Sport Sci* 14: 483 495.
41. Sozański H, Siewierski M, Adamczyk J. (2010) Sport w szkole – stan i perspektywy [in Polish] Sport in schools-state and perspectives. *Wychowanie Fizyczne i Zdrowotne* 489. Warszawa.
42. Sterkowicz-Przybycień K, Grygiel E. (2014) Coping strategies used by professional combat sports fighters vs untrained subjects. *Arch Budo*; 10(1): 17-21.
43. Świdorski G. (1990) 40 lat badań nad przeciążeniem narządu ruchu. W: Kabsch A. Przeciążenia narządu ruchu w pracy zawodowej i w sporcie. Tom II Etiopatogeneza [In Polish] [40 years of research on musculoskeletal overload. W: Kabsch A. Overload locomotor system at work and in sport. Volume II Etiopathogenesis]. Warszawa: 153-165
44. Ważny Z. (1994) Leksykon treningu sportowego [in Polish] [Lexicon sports training], AWF Studia i Monografie, Warszawa.
45. Zatsiorsky V, Kraemer W. (2006) Science and practice of strength training. Champaign: *Human Kinetics*; 137-153.

II Streszczenie

Wstęp

W ramach treningu karate shotokan wyróżniamy ćwiczenia technik podstawowych (*kihon*), walkę (*kumite*) oraz *kata*, czyli ściśle określony układ ciosów i bloków imitujący walkę z przeciwnikami nacierającymi z różnych stron. Podstawą treningu jest nauka pozycji. Podczas doskonalenia *zenkutsu dachi*, *kokutsu dachi* i *kiba dachi* w procesie treningowym może dojść do znacznego obciążenia kończyn dolnych, a w szczególności stawów kolanowych.

Cel badań

W związku z zaobserwowanym zjawiskiem występowania powtarzalnych dolegliwości bólowych u zawodników przeprowadzono ocenę parametrów biomechanicznych w celu odnalezienia patobiomechanizmu oraz zaproponowania działań prewencyjnych.

Materiał i metody badawcze

W pierwszej części badań uczestniczyło 15 zawodników kata ze średnią wieku 25.9 ± 6.9 lat z minimalnym 12-letnim stażem treningowym oraz 15 aktywnych fizycznie studentów ze średnią wieku 22.6 ± 3.8 lat, nietreningujących karate. Dokonano oceny izokinetycznej mięśni hamstrings i quadriceps u zawodników kata karate shotokan w porównaniu do grupy kontrolnej. Pomiary przeprowadzono za pomocą dynamometru izokinetycznego Biodex System 3 PRO w prędkościach kątowych $60^\circ \cdot s^{-1}$ i $180^\circ \cdot s^{-1}$.

W kolejnej części badań wzięło udział 15 zawodników kata ze średnią wieku 27.5 ± 8 lat ze średnim stażem treningowym 17.5 ± 4.8 lat. W ramach badań zmierzono siły reakcji podłoża podczas wykonywania dynamicznych przejść w pozycjach karate. Przeprowadzono testy funkcjonalne: test Thomasa, test Patricka i test Obera weryfikujące obecność przykurczy w obrębie kończyn dolnych oraz Foot Posture Index Test.

Wyniki

Wskaźnik H:Q wyznaczony na podstawie pomiarów w warunkach izokinetyki dla prędkości kątowej $60^\circ \cdot s^{-1}$ dla prawego stawu kolanowego oraz w prędkości $180^\circ \cdot s^{-1}$ dla lewego stawu kolanowego wykazał, że średnie wartości uzyskane przez grupę zawodników kata były istotnie statystycznie wyższe od grupy kontrolnej ($p \leq 0.05$). Nie

wykazano natomiast istotnych statystycznie różnic deficytu bilateralnego pomiędzy badanymi grupami. Średnie wartości wskaźnika H:Q oraz deficytu bilateralnego nie wykazały nieprawidłowości. Wykazano, że wartość deficytu bilateralnego rośnie wraz z długością stażu treningowego.

Siły reakcji podłoża występujące w podstawowych pozycjach karate istotnie statystycznie się od siebie różnią ($p < 0.05$). W pozycjach *zenkutsu dachi* i *kokutsu dachi* składowe pionowe siły reakcji podłoża osiągają wartości ponad trzykrotnie przewyższające ciężar ciała zawodników. We wszystkich trzech pozycjach podstawowych wykazano istotnie statystycznie większe wartości median składowej przednio-tylnej względnych sił reakcji podłoża w grupie zawodników kata, w której wykazano występowanie przykurczów mięśni kończyn dolnych.

Wyniki badań izokinetycznych wykazały prawidłowe proporcje pomiędzy zginaczami i prostownikami stawów kolanowych oraz brak deficytu bilateralnego. W związku z powyższym można wnioskować, że występowanie dolegliwości w obrębie kończyn dolnych nie wynikają z ruchów zginania i prostowania, lecz z generowanych sił reakcji podłoża podczas dynamicznych przejść między pozycjami.

Wnioski

U zawodników uprawiających wyczynowo karate shotokan stwierdza się występowanie prawidłowych proporcji momentów sił rozwijanych przez mięśnie zginacze i prostowniki stawów kolanowych. Brak deficytu bilateralnego świadczy o podobnym obciążeniu kończyn dolnych podczas treningu. Nie jest to zatem czynnikiem, który w sposób bezpośredni powoduje zmiany przeciążeniowe, objawiające się dolegliwościami bólowymi wśród zawodników. Występowanie przykurczy mięśni kończyn dolnych istotnie statystycznie wpływa na zwiększenie generowanych sił reakcji podłoża podczas wykonywania dynamicznych przejść w podstawowych pozycjach karate. W związku z oddziaływaniem składowej przednio-tylnej sił reakcji podłoża za najbardziej niebezpieczną pozycję uznaje się *kiba dachi*. Działania prewencyjne zawodników karate shotokan powinny się skupiać na ograniczeniu przykurczów mięśni oraz zmniejszeniu generowanych sił reakcji podłoża poprzez wielokrotne powtórzenia ćwiczeń kata z użyciem platform pomiarowych.

III Abstract

Introduction

Shotokan karate training consists of the practice of basic techniques (*kihon*), sparring (*kumite*) and *kata*, which is a sequence of strictly defined movements for defense and attack performed as if fighting many opponents attacking from different sides. *Kata* training is based on learning basic stances. Improving the stances in the training process can have a significant impact on the loading of lower limb joints, particularly knee joints. Due to the observed phenomenon of repeatable pain occurrence, the biomechanical assessment in kata athletes has been performed.

Aim

The aim of the study was to discover the pathobiomechanism and propose prevention solutions.

Material and methods

In the first part of the research participants were 15 kata athletes (aged 25.9 ± 6.9) with a minimum of 12 years of training experience and 15 physically active students (aged 22.6 ± 3.8). Isokinetic assessment of hamstrings and quadriceps of shotokan karate kata athletes was performed and the results were compared to non-karate controls. Isokinetic dynamometer Biodex System 3 PRO, measuring shaft at $60^\circ \cdot s^{-1}$ and $180^\circ \cdot s^{-1}$ was used in the study.

In the second part of the study the 15 participants were male shotokan karate kata athletes (aged 27.5 ± 8 years; training experience of 17.5 ± 4.8 years). During the study, the ground reaction forces during dynamic transitions in basic stances were measured. The following functional tests were also performed: Thomas test, Ober test and Patrick test, verifying the occurrence of lower limb muscle contractures. The Foot Posture Index Test was also performed.

Results

The results of isokinetic measurements i.e. comparison of mean value of the H:Q ratio for the right knee at $60^\circ \cdot s^{-1}$ and left at $180^\circ \cdot s^{-1}$ showed that the values obtained by karate athletes were higher ($p \leq 0.05$). There were no significant differences in bilateral movement of the knees between the karate and control groups. Mean values of the H:Q

ratio and BD did not show any irregularities. It was demonstrated that quadriceps BD increased along with the training experience of kata athletes.

The ground reaction forces occurring in basic karate stances were statistically significantly different ($p < 0.05$). In the *zenkutsu dachi* and *kokutsu dachi* stances their vertical components reached values more than three times higher than the athletes' body weight. All three basic stances showed statistically significant ($p < 0.05$) higher values of the anteroposterior component of the ground reaction forces in the group of kata athletes; the occurrence of lower limb muscle contractures.

The results of the isokinetic measurements showed correct proportions between knee joint flexors and extensors and no bilateral deficit was found. It should be assumed that pain in lower limb joints, especially knee joints in karate athletes does not result from flexing and extending movements, but rather from the ground reaction forces during dynamic transitions.

Conclusions

Shotokan karate athletes have the correct proportions between hamstrings and quadriceps. The absence of bilateral deficit means that during the training process lower limbs work similar. Therefore, it is not a factor that directly causes overload changes, manifested by pain among athletes. Due to the impact of the anteroposterior component of the ground reaction forces, the *kiba dachi* is considered to be the most dangerous stance. The occurrence of contractions of lower limb muscles in shotokan karate athletes has a statistically significant impact on the increase in the generated ground reaction forces during dynamic transitions in three basic kata stances. Therefore, it is possible to prevent lower limb overload changes by eliminating muscle contractures and optimizing the GRFs by repeating the sequences of kata movements using measuring platforms.

Aktywność naukowa i zawodowa doktorantki

Czynny udział w konferencjach naukowych:

- Lisowska A, Ogurkowska M. Evaluation of hamstrings and quadriceps in Shotokan karate athletes conducted by isometric test - Międzynarodowa Konferencja Naukowa Biomechanics 2018, Zielona Góra 5-7 września 2018 r.
- Lisowska A, Ogurkowska M. Analiza właściwości radiologicznych struktur kostnych odcinka lędźwiowego u zawodników uprawiających kata w Karate Shotokan - Majówka Młodych Biomechaników, Ustroń 19-21 maja 2017r.

Współautor prezentowanych wyników:

- Wegner-Czeriak K, Lisowska A, Błaszczyk A, et al. Geometria odcinka lędźwiowego kręgosłupa oraz ocena stopnia niepełnosprawności u monterów przemysłu motoryzacyjnego - Międzynarodowe Seminarium Ergonomii, Poznań 23-25 maja 2018 r.
- Lisowska A, Wegner K, Zygmąńska M, et al. Wpływ sposobu obciążenia narządu ruchu na powstające zmiany przeciążeniowe - Konferencja Młodych Biomechaników, Ustroń 20-22 maja 2016 r.
- Lisowska A, Wegner K, Sznycer A et al. Evaluation of overload changes of Kata Karate Shotokan competitors- Międzynarodowa Konferencja Naukowa Biomechanics, Biała Podlaska 5-7 września 2016 r.

Aktywność zawodowa:

2009-2010 prowadzenie sekcji karate na AWF w Poznaniu i członkostwo w samorządzie studenckim.

2010-2011 prowadzenie zajęć Karate dla dzieci w Borówcu.

2011-2012 praca w charakterze Instruktorci Fitness w klubie Active Woman w Borówcu.

2012 ukończenie stopnia licencjata na AWF w Poznaniu na kierunku Wychowanie Fizyczne w specjalności nauczycielskiej z gimnastyką korekcyjno-kompensacyjną z wynikiem bardzo dobrym. Temat pracy licencjackiej:

Wybrane zabawy i gry ruchowe stosowane w treningu Karate Shotokan dla dzieci w wieku 6-11 lat.

2012-2014 uzyskanie stopnia Instruktora Sportu Fitness i ukończenie kursu Animatora Czasu Wolnego oraz Kierownika Wypoczynku Dzieci i Młodzieży.

2013 stypendium zagraniczne z programu LPP Erasmus w języku angielskim w Lizbonie na uczelni FMH na kierunku Wychowanie Fizyczne.

2013-2014 zatrudnienie przez AWF w Poznaniu jako Buddy Student do opieki nad przyjezdnymi studentami zza granicy oraz praca na siłowni Orange Gym w Poznaniu.

2014 ukończenie studiów magisterskich- specjalność: Dostosowana Aktywność Ruchowa.

2014–2018 studia doktoranckie - badania naukowe w Zakładzie Biomechaniki.

2015-2020 członkostwo w Studenckim Kole Naukowym Biomechaniki

2020 – srebro w konkurencji kata drużynowe podczas Pucharu Świata World Union Karate

Załączniki

- Oświadczenia współautorów
- Publikacja nr 1
- Publikacja nr 2

Poznań, 26.10.2021r.

prof. AWF dr hab. Małgorzata Ogurkowska
Zakład Biomechaniki
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu

Dotyczy wniosku o przeprowadzenie postępowania doktorskiego mgr Anny Lisowskiej

Oświadczenie współautora

Oświadczam, że w powstawaniu publikacji:

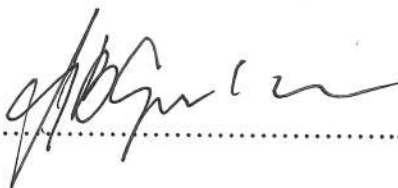
1. Lisowska A, Murawa M, Ogurkowska M. Isokinetic assessment of knee joint muscles in shotokan karate kata athletes. Archives of Budo 2020;16: 61-66
Impact Factor - 1.014, punktacja MNiSW:100
2. Lisowska A, Fryzowicz A, Mączyński, Ogurkowska M. The ground reaction forces in basic stances in shotokan karate as an effective indicator in the prevention of lower limb pain in competitive athletes. Archives of Budo 2021;17: 177-184
Impact Factor - 1.014, punktacja MNiSW:100

mój udział polegał na przygotowaniu koncepcji pracy badawczej, analizie i interpretacji wyników badań oraz opracowaniu i weryfikacji tekstu publikacji.

Swój udział w każdym projekcie oceniam na 25%

Potwierdzenie współautora:

Ogurkowska Małgorzata.....



Poznań, 2.11.2021 r.

dr Michał Murawa
Zakład Biomechaniki
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu

Dotyczy wniosku o przeprowadzenie postępowania doktorskiego mgr Anny Lisowskiej

Oświadczenie współautora

Oświadczam, że w powstawaniu publikacji:

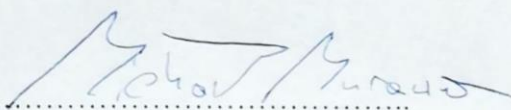
1. Lisowska A, Murawa M, Ogurkowska M. Isokinetic assessment of knee joint muscles in shotokan karate kata athletes. Archives of Budo 2020;16: 61-66
Impact Factor - 1.014, punktacja MNiSW:100

mój udział polegał na realizacji części eksperymentalnej projektu, analizie wyników i weryfikacji tekstu publikacji.

Swój udział w projekcie oceniam na 20 %

Potwierdzenie współautora:

Murawa Michał



Poznań, 2.11.2021r.

dr Anna Fryzowicz
Zakład Biomechaniki
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu

Dotyczy wniosku o przeprowadzenie postępowania doktorskiego mgr Anny Lisowskiej

Oświadczenie współautora

Oświadczam, że w powstawaniu publikacji:

1. Lisowska A, Fryzowicz A, Mączyński, Ogurkowska M. The ground reaction forces in basic stances in shotokan karate as an effective indicator in the prevention of lower limb pain in competitive athletes. Archives of Budo 2021;17: 177-184
Impact Factor - 1.014, punktacja MNiSW:100

mój udział polegał na realizacji części eksperymentalnej projektu, analizie wyników i weryfikacji tekstu publikacji.

Swój udział w projekcie oceniam na 10 %

Potwierdzenie współautora:

Fryzowicz Anna... *Anna Fryzowicz*

Poznań, 2.11.2021r.

mgr Jacek Mączyński
Zakład Biomechaniki
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu

Dotyczy wniosku o przeprowadzenie postępowania doktorskiego mgr Anny Lisowskiej

Oświadczenie współautora

Oświadczam, że w powstawaniu publikacji:

1. Lisowska A, Fryzowicz A, Mączyński, Ogurkowska M. The ground reaction forces in basic stances in shotokan karate as an effective indicator in the prevention of lower limb pain in competitive athletes. Archives of Budo 2021;17: 177-184
Impact Factor - 1.014, punktacja MNiSW:100

mój udział polegał na realizacji części eksperymentalnej projektu oraz analizie statystycznej wyników.

Swój udział w projekcie oceniam na 10 %

Potwierdzenie współautora:

Mączyński Jacek..... *Jacek Mączyński*.....

Isokinetic assessment of knee joint muscles in shotokan karate kata athletes

Authors' Contribution:

- A Study Design
- B Data Collection
- C Statistical Analysis
- D Manuscript Preparation
- E Funds Collection

Anna M. Lisowska^{ABDE}, Michał Murawa^{ID BD}, Małgorzata Ogurkowska^{ID ADE}

Department of Biomechanics, Poznan University of Physical Education, Poznan, Poland

Received: 18 January 2020; Accepted: 06 March 2020; Published online: 09 March 2020

AoBID: 13270

Abstract

Background and Study Aim:

Due to the observed phenomenon of knee joint pain in kata athletes, isokinetic assessment of hamstrings and quadriceps of shotokan karate kata athletes was performed and the results were compared to non-karate controls. The aim of the study was to verify whether under the influence of prolonged karate training there is an imbalance between the flexors and extensors of the knee joint and between the right and left lower limbs.

Material and Methods:

The participants were 15 kata athletes (aged 25.9 ± 6.9) with a minimum of 12 years of training experience and 15 physically active students (aged 22.6 ± 3.8). Biodex System 3 PRO, measuring shaft at 60°·s⁻¹ and 180°·s⁻¹ was used in the study.

Results:

Comparison of mean value of the H:Q ratio for the right knee at 60°·s⁻¹ and left at 180°·s⁻¹ showed that the values obtained by karate athletes were higher ($p \leq 0.05$). There were no significant differences in bilateral movement of the knees between the karate and control groups. Mean values of the H:Q ratio and BD did not show any irregularities. It was demonstrated that quadriceps BD increased along with the training experience of kata athletes.

Conclusions:

The results of the study showed correct proportions between knee joint flexors and extensors and no bilateral deficit was found. It should be assumed that pain in lower limb joints, especially knee joints in karate athletes does not result from flexing and extending movements, but rather from the ground reaction forces during dynamic transitions. It is necessary to measure the forces generated during the transitions in zenkutsu dachi, kokutsu dachi and kiba dachi.

Key words:

bilateral deficit • biomechanics • quadriceps • hamstrings • H:Q ratio • martial art

Copyright:

© 2020, the Authors. Published by Archives of Budo

Conflict of interest:

Authors have declared that no competing interest exists

Ethical approval:

The study was approved by the Bioethics Committee at Poznan University of Medical Sciences

Provenance & peer review:

Not commissioned; externally peer-reviewed

Source of support:

Grant from the Ministry of Science and Higher Education – Development of young scientific workers

Author's address:

Anna Lisowska; Department of Biomechanics, Poznan University of Physical Education, Królowej Jadwigi St. 27/39, 61-871 Poznań, Poland; email: ania.lisowska90@gmail.com

Martial arts – plural noun any of various systems of combat and self-defence, e.g. judo or karate, developed especially in Japan and Korea and now usually practised as a sport [28].

Kata – noun a sequence of movements in some martial arts such as karate, used either for training or to demonstrate technique [28].

Kumite – is a semi-contact karate competitive concurrence, where two athletes perform various kicking, punching and blocking techniques towards each other with maximum control in order to gain points and win the match. Destruction is fictive.

Technique – noun a way of performing an action [28].

Dan (dan'ï) – a term used to denote one's technical level or grade [29].

Kyū – the series of grades that precede *dan* ranks. *Ikkyū* is the grade immediately below *shodan* [29].

Training session – noun a period of time during which an athlete trains, either alone, with a trainer or with their team [28].

Performance – noun the level at which a player or athlete is carrying out their activity, either in relation to others or in relation to personal goals or standards [28].

INTRODUCTION

Karate shotokan (*shōtōkan*) is a martial art created in Japan with kumite and kata as the two main competitive sports disciplines. Kata is the presentation of a series of movements and techniques in an established order against imaginary opponents. Kumite is dynamic, structured and involves fighting an opponent with the use of various movements including defensive and offensive techniques [1, 2].

In the kata category, from the biomechanical point of view, victory to a large extent depends on how each movement and technical element is performed [3]. Perfect punches and blocks as part of basic techniques (*kihon*) [4] constitute an indispensable element of kata training sessions. Athletes participating in kata competitions at the highest level are characterized by high muscle explosive strength, balance and flexibility, which plays a key role in this discipline [5-7]. The ability to defend against any attack in all conditions depends mainly on maintaining the correct posture. The posture in karate depends primarily on the position of the lower limbs. A strong and stable posture is a prerequisite for the implementation of strong, fast, accurate and well-made techniques [8]. The stances in shotokan karate kata are unnatural, low and elongated, which significantly overloads knee joints [9, 10]. Therefore, it should be assumed that the results of survey-based studies carried out earlier by the authors of this paper [10] and the analysis of data available in the literature [11] show that lower limb joints, particularly knee joints, are the most common location of pain experienced by kata athletes. Performing kata positions and kicks during training sessions and competitions were enumerated among the circumstances in which pain occurred. Among kumite athletes, the most frequent injuries include upper limb fingers, followed by knee joints. The dominant causes of injuries are trauma, caused by training over-extension, inappropriate warm up and injury by training partner [12].

Due to high frequency of knee joint trauma in kata athletes, isokinetic tests of knee joint flexors and extensors were performed to verify whether excessive bilateral deficit and/or undesirable HQ ratio is one of the causes of injuries. Assessment of these indicators may be very useful in preventing future injury.

As a result of repeating the same movement patterns throughout a number of years, a negative adaptation of the body to the sport may occur,

which often manifests itself as contralateral and ipsilateral strength and flexibility imbalances [13-15]. The indicators pointing to the occurrence of contralateral and ipsilateral imbalances are the following: the hamstrings-to-quadriceps peak torque ratio (H:Q) and bilateral deficit (BD). H:Q is regarded as an important indicator of the strength both in sports and rehabilitation [16-20]. A decrease in flexor muscle strength due to movements which overload knee extensors may lead to muscle imbalance between hamstrings and quadriceps, which constitutes an important risk factor in knee joint injury [17, 20]. Maintaining balance between hamstrings and quadriceps is essential for the general stabilization of the knee joint [21].

The aim of the study was to verify whether under the influence of prolonged karate training there is an imbalance between the flexors and extensors of the knee joint and between the right and left lower limbs.

The answer to this question (i.e. the empirical data obtained), implies an issue: whether karate kata athletes are more prone to knee joint injuries due to excessive bilateral deficits and/or inadequate imbalance between hamstrings and quadriceps.

MATERIAL AND METHODS

Participants

The subjects were male shotokan karate kata athletes aged 25.9 ± 6.9 with a minimum of 12 years of training experience. The average training experience ratio calculated on the basis of age was $65 \pm 9\%$ (Table 1). The levels of advancement ranged from 3 kyu to 4 dan. Each of the participants took an active part in kata competitions. In order to make sure that the results are objective, the athletes came from different sports clubs.

Table 1. Descriptive subject characteristics (mean and standard deviation).

Variable	Kata athletes (n = 15)	Control group (n = 15)
Age (y)	25.9 ± 6.9	22.6 ± 3.8
Height (cm)	179.3 ± 5.9	179.7 ± 7.2
Weight (kg)	78.1 ± 6.1	76.9 ± 10.8
BMI (kg/m ²)	24.3 ± 2.2	23.7 ± 2.3
Karate training experience (y)	16.6 ± 4.1	0

The control group consisted of students of the University of Physical Education and Poznan University of Medical Sciences with an average age of 22.6 ± 3.8 who were physically active but did not practise karate. Both the athletes and the students did not report any lower limb injuries in the last 12 months preceding the study and voluntarily agreed to participate in the study.

The laboratory tests were approved by the Bioethics Committee at Poznan University of Medical Sciences. Before the study was commenced, each participant was acquainted with the characteristics of the tests and the associated risks, and voluntarily agreed to participate in the study and acknowledged that the results would be made public.

Strength measurements

Isokinetic tests of concentric hamstrings and quadriceps strength at an angular velocity of $180^\circ \cdot s^{-1}$ and $60^\circ \cdot s^{-1}$ were conducted using Biodex System 3 (Biodex Medical Systems, Inc., Shirley, NY, USA). The test was conducted in the morning in the biomechanics laboratory at Poznan University of Physical Education. The isokinetic test was preceded by a 10 minute warm-up on stationary bicycle and stretching. The test was preceded by thorough instructions and an attempt to perform a particular movement correctly. During the test, the right and then left knee joints were flexed and extended with maximum force. In the first stage, 5 movements at $180^\circ \cdot s^{-1}$ were performed, followed by 3 movements at $60^\circ \cdot s^{-1}$.

Hamstrings and quadriceps average peak torque (PT) together with the peak torque to body mass ($PT \cdot m^{-1}$) were used for the analysis. Time to peak torque, which is a parameter that indicates how long it took to reach the peak torque, was also analysed.

The aim of this study was to analyse hamstrings and quadriceps peak torque bilateral deficit (BD). It was calculated according to the following formula:

$$BD = (X_1 - X_2) * \frac{100\%}{X_1}$$

In this equation $X_1 > X_2$ represents the values of the left and right lower limb peak torque. The hamstrings (H) to quadriceps (Q) peak torque ratio was also verified. It was calculated according to the following formula:

$$H:Q = \frac{H}{Q} * 100\%$$

Statistical analysis

All statistical analyses were performed with the use of the Statistica 13.1 software package (Statsoft Inc., Tulsa, Oklahoma, USA). The parameters obtained in the isokinetic evaluation of quadriceps and hamstrings, somatic indices and experience were expressed as mean and standard deviations.

Parametric Student's t-distribution test and non-parametric Wilcoxon signed-rank test and Pearson correlation and Spearman's rank correlation test were carried out. The Shapiro-Wilk test was conducted to check the compliance of the distribution of the tested parameters with the normal distribution. The non-parametric Mann-Whitney U test was used for variables that did not meet the normal distribution condition.

Critical significance level was assumed to be $p \leq 0.05$.

RESULTS

Spearman's rank correlation test showed that quadriceps BD increased along with an increase in the training experience ratio at an angular velocity of $60^\circ \cdot s^{-1}$ ($r = 0.527$; $p = 0.043$).

Moreover, it was found that 93% of the athletes declared that the right lower limb was dominant, however, there were no statistically significant differences for the mean peak torque between the right and left side, both between hamstrings and quadriceps (Table 2).

Comparison of mean values for the right knee H:Q ratio for the angular velocity of $60^\circ \cdot s^{-1}$ showed that the results obtained by karate athletes were statistically significantly higher ($p = 0.039$) than in the control group. Also the mean values for the left knee H:Q ratio for the angular velocity of $180^\circ \cdot s^{-1}$ were statistically significantly higher in karate athletes ($p = 0.023$).

Analysing the mean values of maximum muscle torque in relation to mass during knee joint extension at an angular velocity of $60^\circ \cdot s^{-1}$, we observed a tendency towards significantly higher $PT \cdot m^{-1}$ values obtained by the control group in comparison to karate athletes for the right lower limb ($p = 0.059$) and for the left lower limb ($p = 0.062$).

Table 2. Karate athletes and control group values (mean and standard deviation) at two angular velocities.

Indicator	Lower limb	Kata karate athletes (n = 15)		Control group (n = 15)	
		60°·s ⁻¹	180°·s ⁻¹	60°·s ⁻¹	180°·s ⁻¹
Avg. PT Q (N · m)	R	214.16 ±37.90	163 ±20.27	229.65 ±34.92	169.19 ±27.53
	L	222.52 ±32.38	173.39 ±38.3	233,6 ±41,57	173.33 ±30.84
Avg. PT·m ⁻¹ Q (N · m · kg ⁻¹)	R	2.75 ±0.42	2.19 ±0.36	3.00 ±0.26	2.22 ±0.14
	L	2.86 ±0.31	2.23 ±0.45	3.04 ±0.29	2.28 ±0.15
Avg. PT H (N · m)	R	125.07 ±30.96	97.01 ±23.75	120.49 ±26.71	93.63 ±15.06
	L	121.63 ±22.57	99.07 ± 19.19	120.26 ±0.24	91.83 ±19.24
Avg. PT·m ⁻¹ H (N · m · kg ⁻¹)	R	1.61 ±0.32	1.24 ±0.23	1.56 ±0.19	1.22 ±0.10
	L	1.56 ±0.23	1.30 ±0.29	1.56 ±0.19	1.19 ±0.14
H:Q (%)	R	58.63 ±9.13*	58.95 ±8.94	52.23 ±6.9*	55.66 ±6.15
	L	54.75 ±6.9	59.38 ±5.94*	51.59 ±5.99	53.28 ±7.77*
Q BD (%)		7.95 ±5.91	8.36 ±12.02	5.01 ±4.24	5.24 ±2.63
H BD (%)		8.66 ±5.91	10.64 ±7.36	6.49 ±6.17	7.7 ±5
Quadriceps time to PT (ms)	R	424 ±86	205 ±55	451.33 ±111	207 ±38
	L	430 ±90	209 ±50	447 ±109	190 ±46
Hamstrings time to PT (ms)	R	394 ±132	282 ±126	457 ±176	340 ±129
	L	428 ±165	315 ±122	437 ±150	326 ±121

* p≤0.05 (significantly different from the same-side control)

DISCUSSION

The determined hamstrings and quadriceps peak torque bilateral deficit (BD) in the studied athletes at the angular speed of 60°·s⁻¹ was below 10% (Biodex system standard), i.e. hamstrings 8.66 ±5.91% and quadriceps 7.95 ±5.91%. At the same time, an increase in BD was observed along with an increase in the training experience ratio. At this point it should be emphasized that the occurrence of considerable differences between the left and right lower limb muscle torque may contribute to an increased risk of injuries [17,22].

The H:Q ratio of the knee flexor peak torque to the knee extensor peak torque under isokinetic conditions should reach values about 60%. Data in the literature also indicate that the typical H:Q strength ratio of a healthy knee ranges from 50% to 80% [20, 23, 24]. The mean H:Q results in the tested athletes at the angular speed of 60°·s⁻¹ were as follows: right limb 58.63 ±9.13%, left limb 54.75 ±6.9%. Additionally, it was shown that training experience does not have a statistically significant effect on the decrease of the H:Q ratio at 60°·s⁻¹. This may be indicative of the proper training involving both knee flexors and extensors. At the same time it is worth noting

that decreased strength of hamstrings in relation to quadriceps could lead to an increased risk of knee joint injuries [17, 25, 26]. Analysis of the H:Q ratio in the studied karate athletes did not reveal any abnormalities.

However, comparing the values of maximum muscle torque determined in this study in relation to mass in the group of kata athletes with results of similar studies which were previously described in the literature and were carried out on karate athletes representing Serbia and the USA, it should be stated that PT·m⁻¹ values for quadriceps are similar. At the angular velocity of 60°·s⁻¹ Poles obtained the following results for the right lower limb: 2.75 ±0.42Nm·kg⁻¹ and for the left lower limb: 2.86 ±0.31 Nm·kg⁻¹. Elite male karate athletes from Serbia at the same angular velocity obtained 2.72 ±0.44 Nm·kg⁻¹ for the right lower limb and 2.76 ±0.46 Nm·kg⁻¹ for the left lower limb [2], whereas athletes from the USA obtained 2.8 ±0.3Nm·kg⁻¹ for the right lower limb and 2.8 ±0.2Nm·kg⁻¹ for the left lower limb [15].

The mean PT·m⁻¹ values for hamstrings in the group of athletes were highest in karate athletes from Serbia (right: 1.86 ±0.29Nm·kg⁻¹, left: 1.83

$\pm 0.44 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$) [2], USA (right: $1.8 \pm 0.3 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$, left: $1.7 \pm 0.3 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$) [15]. Noticeably lower results were obtained by Poles (right: $1.61 \pm 0.32 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$, left: $1.56 \pm 0.23 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$). These results are directly translated into the values of the H:Q ratio, which in karate athletes from Serbia were as follows: right 68.89 ± 6.81 , left 66.56 ± 12.14 [2] and in karate athletes from the USA: right 62.8 ± 8.5 , left 60.2 ± 8.6 [15]. Despite noticeable differences, all results of the H:Q ratio in the above mentioned groups of athletes were correct in terms of standard described in the literature.

Both Lisowska et al. in this research and Kotrljanovic et al. [2] included long-term top-level karate athletes, but there were only kumite athletes among Serbs. Probst et al. [15] studied 5 men and 4 women with less training experience and lower level of advancement, i.e. from green to black belt.

Comparing the results of relative muscle torque in other martial arts, one can observe clear differences. For the angular velocity of $180^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ kata athletes obtained the following values of $\text{PT}\cdot\text{m}^{-1}$ during knee extension: right $2.19 \pm 0.36 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$; left $2.23 \pm 0.45 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$, which were very similar to taekwondo athletes (right $2.21 \pm 0.39 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$ left $2.22 \pm 0.42 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$). However, boxers obtained lower values (right $1.75 \pm 0.43 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$, left $1.8 \pm 0.34 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$) [27]. The values of maximum knee flexion torque in relation to mass in karate athletes were lowest, i.e. right $1.24 \pm 0.23 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$, left $1.3 \pm 0.29 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$, in taekwondo athletes the results were as follows: right $1.7 \pm 0.27 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$, left $1.64 \pm 0.22 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$) and in boxers: right $1.42 \pm 0.4 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$, left $1.37 \pm 0.3 \text{ Nm}\cdot\text{kg}^{-1}$.

It should be noted that both at the speed of $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ and $180^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ the results for knee flexors in the studied kata athletes were lower compared to other studies involving karate or taekwondo athletes and boxers. The most likely cause are the characteristic positions practised by kata athletes, i.e. *zenkutsu dachi*, *kiba dachi* and *kokutsu dachi* engaging mainly quadriceps muscles. However, the specificity of this sport discipline does not require athletes to achieve above-average PTQ values for lower limb muscles. At this point it should be emphasized that in the studied group of athletes the tendency to achieve lower $\text{PT}\cdot\text{m}^{-1}$ Q values for quadriceps in both limbs at the speed of $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ was observed as compared to the control group, which consisted of physically active men.

According to the World Karate Federation (WKF) championship rules for 2019, the kata evaluation system during sports competition accounts in 70% for technical performance and 30% for athletic presentation of the sequence. Therefore, the teaching process is based primarily on correct techniques followed by the performance of individual elements of kata in the shortest time possible. Dynamic transitions between stances, followed by stopping in a stable position, are possible due to very fast alternating tightening and relaxing of the muscles involved. The indicator that allows to verify how fast hamstrings and quadriceps reach their maximum torque is time to peak torque.

The studied Polish athletes achieved a shorter time to peak torque for the angular velocity of $60^\circ\cdot\text{s}^{-1}$ than the athletes from the USA [15]. In Polish kata athletes quadriceps time to peak torque was as follows: right $424 \pm 86 \text{ ms}$, left $430 \pm 90 \text{ ms}$. In Americans quadriceps time to peak torque was the following: right $554 \pm 75 \text{ ms}$, left $556 \pm 76 \text{ ms}$. The difference in hamstrings time to peak torque was slightly smaller, i.e. in Poles: right $394 \pm 132 \text{ ms}$, left $428 \pm 165 \text{ ms}$, in Americans: right $483 \pm 100 \text{ ms}$, left $443 \pm 90 \text{ ms}$. Probably the difference in this indicator was due to the specificity of the study involving American athletes, as the presented mean values of the measured indicators were obtained jointly for women and men [15].

CONCLUSIONS

The study provides information about the knee joint muscle torque under isokinetic conditions in kata athletes. The measurements confirmed the absence of H:Q ratio imbalance and correct mean BD values. Due to the increase of BD along with the increase of training experience, it is extremely important to periodically examine the athletes in order to verify the occurrence of imbalances and reduce them.

The results obtained were certainly helpful in the training process for the athletes themselves and their coaches. Repeating the measurements will allow to observe whether the applied training produced the desired effect of increasing muscle strength and shortening the time to peak torque, or reducing the disproportions that occurred in some athletes. Strengthening hamstrings, reducing BD and maintaining H:Q balance play a key role in preventing knee joint injuries. Thanks to

the reproducibility of the conducted tests, the results can be compared with other groups of athletes from around the world.

Despite the fact that the experimental group was not very numerous, the results indicate that kata athletes are characterized by the correct functional condition of knee joint flexors and extensors. The reason for the frequently reported knee joint pain must therefore be different. This is probably due to the very high ground reaction forces generated when performing dynamic transitions in the shotokan karate stances. Further research is needed to

verify the values and directions of the forces in kata positions. It is assumed that in the dynamic transitions in the *kiba dachi* stance involve the highest values of ground reaction forces, lateral to the knee joint, thereby generating a high muscle torque and twisting the knee joint, which may constitute the main cause of pain in the knee joint.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to all the karate athletes and students who took part in the study.

REFERENCES

- Doria C, Veicsteinas A, Limonta E et al. Energetics of Karate (Kata and Kumite Techniques) in top level athletes. *Eur J Appl Physiol* 2009; 107: 603-610
- Kotrljanovic A, Atanasov D, Veljovic D et al. An isokinetic profile in senior female and male karate athletes national team level. *Arch Budo Sci Martial Art Extreme Sport* 2016; 12: 203-210
- Ardelean VP, Hillerin PJ, Andrei VL et al. Kinematic analysis of lower limbs movement in some karate techniques. *Eur Proc Soc Behav Sci* 2019; 53-59
- Lopes Filho BJP, Oliveira CR, Gottlieb MG. Effects of karate-dô training in older adults cognition: randomized controlled trial. *J Phys Educ* 2019; 30(1): e3030
- Chaabène H, Hachana Y, Franchini E et al. Physical and Physiological Profile of Elite Karate Athletes. *Sports Med* 2012; 42: 829-843
- Giampietro M, Pujia A, Bertini I. Anthropometric features and body composition of young athletes practicing karate at a high and medium competitive level. *Acta Diabetol* 2003; 40: 145-148
- Imamura H, Yoshimura Y, Uchida K et al. An Maximal oxygen uptake, body composition and strength of highly competitive and novice karate practitioners. *Appl Human Sci* 1998; 17: 215-218
- Nakayama M. *Dynamiczne Karate*. Bydgoszcz: Diamond Books; 1999 [in Polish]
- Cynarski WJ. *Antropomotoryka sztuk walki wobec uwarunkowań biologicznych*. Ido Ruch dla Kultury 2000; 110-113 [in Polish]
- Lisowska A, Ogurkowska B, Gabryelski J. Analysis of the occurrence of musculoskeletal pain in Shotokan karate kata athletes. *J Combat Sports Martial Arts* 2017; 8(2): 77-82
- Sorensen H, Zacho M, Simonsen E et al. Dynamics of martial arts high frontal kick. *J Sport Sci* 1996; 14: 483-495
- Peeri M, Boostani MH, Boostani MA. The Rate of Prevalence and Causes of Sport Injuries in Males Karate Kumite Players. *World Appl Sci J* 2011; 15(5): 660-666
- Kim JH, Kim IH, Lee JU et al. Change of muscular activity and dynamic stability of the knee joint due to excessive and repetitive jumping or cutting by female athletes. *J Phys Ther Sci* 2012; 24: 715-719
- Nofal G. Isokinetic eccentric-to-concentric strength ratios of the shoulder rotator muscles in throwers and non-throwers. *Am J Sports Med* 2003; 31: 537-541
- Probst M, Fletcher R, Seelig D. A comparison of lower body flexibility, strength, and knee stability between karate athletes and active controls. *J Strength Cond Res* 2007; 21: 451-455
- Dvir Z. *Isokinetics Muscle testing, interpretation and clinical applications*. 2nd ed. London: Churchill Livingstone; 2004
- Kabaciński J, Murawa M, Żyła T et al. Isokinetic evaluation of hamstrings and quadriceps eccentric muscles strength in volleyball players. *Aktual Probl Biomech* 2017; 12: 35-40
- Karen D, Nunn MA, Mayhew JL. Comparison of Three Methods of Assessing Strength Imbalances at the Knee. *J Orthop Sport Phys* 1998; 10: 134-137
- Kong PW, Burns SF. Bilateral difference in hamstrings to quadriceps ratio in healthy males and females. *Phys Ther Sport* 2010; 11(1): 12-17
- Rosene JM, Fogarty TD, Mahaffey BL. Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes. *J Athl Training* 2001; 36(4): 378-383
- Croisier JL, Ganteaume S, Binet J et al. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med* 2008; 36(8): 1469-1475
- Knapik JJ, Bauman CL, Jones BH et al. Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med* 1991; 19: 76-81
- Andrade MS, De Lira CA, Koffes FC, et al. Isokinetic hamstrings to quadriceps peak torque ratio: the influence of sport modality, gender, and angular velocity. *J Sports Sci* 2012; 30: 547-553
- Evangelidis PE, Pain MT, Folland J. Angle specific hamstring to quadriceps ratio: a comparison of football players and recreationally active males. *J Sports Sci* 2015; 33: 309-319
- Aagard P, Simonsen EB, Magnusson SP et al. A new concept for isokinetic hamstring: Quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med* 1998; 26: 231-237
- Hewett TE, Myer GD, Zazulak BT. Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *J Sci Med Sport* 2008; 11: 452-459
- Mavi Var S. Examination of Bilateral and Unilateral Isokinetic Leg Strengths of Taekwondo Athletes and Boxers. *J Educ Learn* 2019; 8(1): 272-276
- Dictionary of Sport and Exercise Science. Over 5,000 Terms Clearly Defined. London: A & B Black; 2006
- Budō: The Martial Ways of Japan. Tokyo: Nippon Budokan Foundation; 2009

Cite this article as: Lisowska AM, Murawa M, Ogurkowska M. Isokinetic assessment of knee joint muscles in shotokan karate kata athletes. *Arch Budo* 2020; 16: 61-66

The ground reaction forces in basic stances in shotokan karate as an effective indicator in the prevention of lower limb pain in competitive athletes

Authors' Contribution:

- A Study Design
- B Data Collection
- C Statistical Analysis
- D Manuscript Preparation
- E Funds Collection

Anna Lisowska ^{ABDE}, Anna Fryzowicz ^{BD}, Jacek Mączyński^{BC},
Małgorzata Ogurkowska ^{ADE}

Department of Biomechanics, Poznan University of Physical Education, Poznan, Poland

Received: 14 September 2020; Accepted: 07 April 2021; Published online: 28 May 2021

AoBID: 13874

Abstract

Background and Study Aim:

Shotokan karate training is based on learning basic stances. Improving the stances in the training process can have a significant impact on the loading of lower limb joints. Given frequent pain symptoms in the area of the knee joints among professional shotokan karate athletes, the aim of this study was knowledge about the magnitude of lower limb dynamic load indicators while performing three basic *kata* stances.

Material and Methods:

Participants ($n = 15$) were male shotokan karate *kata* athletes (aged 27.5 ± 8 years; training experience of 17.5 ± 4.8 years). During the study, the ground reaction forces (GRFs) during dynamic transitions were measured. The following functional tests were also performed: Thomas test, Ober test and Patrick test, verifying the occurrence of lower limb muscle contractures. The Foot Posture Index Test was also performed.

Results:

The GRFs occurring in basic karate stances were statistically significantly different ($p < 0.05$). In the *zenkutsu dachi* and *kokutsu dachi* stances their vertical components reached values more than three times higher than the athletes' body weight. All three basic stances (also *kiba dachi*) showed statistically significant ($p < 0.05$) higher values of the anteroposterior component of GRFs in the group of *kata* athletes; the occurrence of lower limb muscle contractures, especially hip abductors, was also demonstrated.

Conclusions:

Due to the impact of the anteroposterior component of GRFs, the *kiba dachi* is considered to be the most dangerous stance. In order to avoid chronic overload changes of the musculoskeletal system, preventive measures should be implemented for *kata* athletes. These should focus on minimizing the generated GRFs and preventing muscle contractures.

Key words:

kiba dachi • knee joint • *kokutsu dachi* • load • *zenkutsu dachi*

Copyright:

© 2021, the Authors. Published by Archives of Budo

Conflict of interest:

Authors have declared that no competing interest exists

Ethical approval:

The study was approved by the Bioethics Committee at Poznan University of Medical Sciences (approval No. 624/15).

Provenance & peer review:

Not commissioned; externally peer-reviewed

Source of support:

The study was supported from the grant of the Ministry of Science and Higher Education (Poland)

Author's address:

Anna Lisowska, Department of Biomechanics, Poznan University of Physical Education, Królowej Jadwigi St. 27/39, 61-871 Poznan, Poland; e-mail: ania.lisowska90@gmail.com

Martial arts – plural noun

any of various systems of combat and self-defence, e.g., judo or karate, developed especially in Japan and Korea and now usually practised as a sport [32].

Kata – noun a sequence of movements in some martial arts such as karate, used either for training or to demonstrate technique [32].

Kumite – is a semi-contact karate competitive concurrence, where two athletes perform various kicking, punching, and blocking techniques towards each other with maximum control in order to gain points and win the match. Destruction is fictive.

Technique – noun a way of performing an action [32].

Dan (dan'ï) – a term used to denote one's technical level or grade [33].

Kyū – the series of grades that precede *dan* ranks. *Ikkyū* is the grade immediately below *shodan* [33].

Load – noun **1.** a weight or mass which is supported **2.** the force that a body part or structure is subjected to when it resists externally applied forces **3.** the amount of something, usually weight, that a body part can deal with at one time [32].

Training session – noun a period of time during which an athlete trains, either alone, with a trainer or with their team [32].

Performance – noun the level at which a player or athlete is carrying out their activity, either in relation to others or in relation to personal goals or standards [32].

INTRODUCTION

Shotokan (*shōtōkan*) karate is a martial art which originated in Okinawa, Japan, and was founded by Gichin Funakoshi. Karate training consists of the practice of basic techniques (*kihon*), sparring (*kumite*) and *kata*. In Japanese, *kata* means “basic form”. It is a sequence of strictly defined movements for defence and attack performed as if fighting many opponents attacking from different sides. These techniques were developed by great masters and are always performed in the same order [1-3]. A significant part of karate training consists in practising the stances, which may translate into high loading of hip and ankle joints, and in particular knee joints [4-7]. The basic shotokan karate stances that most often recur in *kata* are: *zenkutsu dachi*, *kokutsu dachi* and *kiba dachi* [8]. The positions and controlling the centre of mass of the athlete is of crucial importance in most of the martial arts [9]. Studies carried out on nine male black belts with an average of more than thirty years of training experience have shown that the weight distributions for those three stances did not present a significant difference between the population mean and the postulated values in the weight distributions, at 0.05 of probability [10]. This is indicative of the fact that the proportions of loading of lower extremities defined in the literature, depending on the position in advanced karate athletes, are in accordance with the applicable standards (Table 1).

The level of karate skills is assessed not only on the basis of *kyu* or *dan* exams, but also on the basis of participation in sports competitions [12].

The criteria for advanced performance of *kata* are defined in the regulations of the European Shotokan Karate-do Association. Referees assess the correct order of techniques, control of force, tension and relaxation, speed, and rhythm, and stopping. The direction of movement, understanding of *kata* and *embusen*, i.e., the beginning and ending the sequence in the same place, are also assessed. Points are also awarded for head movements, positions, balance, coordination, and accuracy. The harmony of movement, *kiiai*, i.e., shout, and breathing are also important. Eye focus, fighting spirit and ceremony are also evaluated [13].

Sports competition at the highest level usually requires the athletes to define their specialization as *kata* or *kumite* [14], which also causes specific adaptation of the body. Elite *kata* athletes are characterized by high explosive muscle strength,

balance, and flexibility, which plays a key role in this discipline [15-18]. Lower limb joints, especially knee joints, are the most frequent location of pain among *kata* athletes [11]. However, it has been verified that the cause is not the hamstrings to quadriceps disproportion, and the common occurrence of bilateral deficit in this discipline has been excluded [18]. It should be emphasised that practicing sports professionally may contribute to the occurrence of overload changes in the musculoskeletal system [6, 19].

The following premises and assumptions are at the basis of the cognitive goal of our research: a) dynamic loads determined by the ground reaction forces (GRFs) may cause internal loads and increase the risk of overload knee injuries as a result of repeating the sequences of *kata* movements many times; b) there are of frequent pain symptoms in the area of the knee joints among professional shotokan karate athletes; c) functional tests concerning contractures of the lower limb muscles allow to determine their statistical relationships with the GRFs in *kata* training; d) understanding the pathobiomechanism of overload changes in the musculoskeletal system in this group of athletes may lead to the development of prevention of lower limb joint ailments.

The aim of this study was knowledge about the magnitude of lower limb dynamic load indicators while performing three basic *kata* stances.



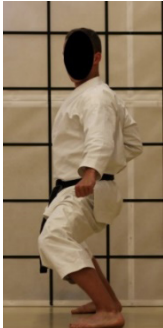



MATERIAL AND METHODS

Participants

Subjects ($n = 15$) participating in this study were male shotokan karate *kata* competitors (aged 27.5 ± 8 years; height 178.7 ± 6.3 cm; body mass 78.7 ± 6.1 kg; BMI 24.7 ± 2.5 kg/m²). Training experience of the whole group was on average 17.5 ± 4.8 years. The average training experience ratio calculated on the basis of age was $64 \pm 8.5\%$. The levels of advancement ranged from 3 *kyu* to 4 *dan*.

A total of 15 *kata* athletes were qualified for the main test in the biomechanical laboratory. The inclusion criteria were as follows: a minimum training experience of 12 years and no injuries sustained in the preceding 6 months. The test was preceded by a 10-minute warm-up on a stationary bicycle and individual 5-minute stretching.

Table 1. Basic karate stances [11].

View	Stance		
	<i>zenkutsu dachi</i>	<i>kokutsu dachi</i>	<i>kiba dachi</i>
Front			
Side			

The laboratory tests with human participants were approved by the Bioethics Committee at Poznan University of Medical Sciences (approval No. 624/15). Before the study was commenced, each athlete was acquainted with the characteristics of the tests and the associated risks, and voluntarily agreed to participate in the study.

Measurement of GRFs

Kistler type 9281C piezoelectric platform, 40 x 60cm in size, was used to measure the GRFs during performance of transitions in stances. Type of load amplifier: 9865B1Y28; measurement sampling frequency: 1000Hz; connection to a computer with a 12-bit analogue-digital converter. On the platform, data from the front leg were recorded in dynamic transitions reflecting the conditions of *kata* competitions. Transitions to the left and right side in the following stances: 1) *zenkutsu dachi age uke gyaku zuki*; 2) *kokutsu dachi shuto uke*; 3) *kiba dachi gedan barai* were measured three times. Maximum values of the three components of GRFs: vertical (F_y), antero-posterior (F_z) and lateral-medial (F_x) were considered for the analysis of the selected stances. The results were presented as relative force values,

i.e., the quotient of the maximum GRF to the athlete's body weight [N/kg]. Then the mean values of the examined group and standard deviation were determined.

Foot Posture Index Test

The correctness of foot shape was evaluated using the Foot Posture Index Test (FPIT). During the functional test, 6 components are evaluated which are indicative of whether a foot is neutral or deviations towards pronation or supination occur: 1) talar head palpation, 2) supra & infra lateral malleolar curvature, 3) inversion/eversion of calcaneus, 4) bulging in talonavicular joint, 5) congruence of the medial longitudinal arch, 6) abduction/adduction of the forefoot on the rearfoot [20].

Functional tests

Functional tests, i.e., Thomas test, Patrick test and Ober test, were also carried out to verify the occurrence of lower limb muscle contractures. Verification of the occurrence of contractures in the tested muscles allowed to compare the relative GRFs depending on the occurrence or absence of muscle contractures. This article shows the values of these forces, which differ significantly in

both groups, broken down into the right and left lower limb. For the purposes of data presentation, the muscles that take an active part in performing dynamic transitions in basic stances were selected. The analysis of the median values of the GRFs, which were obtained for selected stances by athletes with and without muscle contractures, broken down into the left/right lower limbs has been made.

Statistical analysis

All statistical analyses were conducted with the use of TIBCO Statistica® ver. 13. Normality of distribution was verified using the Shapiro-Wilk test. Then, in the absence of normal distributions, the non-parametric Spearman’s rank correlation test was used for the analysis. The Mann-Whitney U test was used to demonstrate statistical significance of differences in median GRFs of lower limbs for two groups of athletes (with and without muscle contractures). Tukey’s HSD test was used to show the differences between the GRFs in particular stances. In the studies, the level of at least $p < 0.05$ and higher was shown as statistically significant differences.

RESULTS

The GRFs occurring in basic karate stances were statistically significantly different ($p < 0.05$). The highest maximum values of GRFs of the examined *kata* athletes were obtained in the measurement of the vertical component in the *zenkutsu dachi* stance. Higher values were generated by

the right lower limb in all three stances. In the *zenkutsu dachi* stance, significantly higher values of the vertical component of the right lower limb were observed in relation to the left lower limb in the *kiba dachi* stance ($p = 0.019$). Additionally, a tendency towards statistically significantly higher values of vertical GRFs in the *zenkutsu dachi* stance was observed in relation to the *kiba dachi* stance for left lower limbs ($p = 0.096$) and right lower limbs ($p = 0.069$) (Table 2).

It was demonstrated that in the *zenkutsu dachi* stance the lateral medial GRFs were statistically significantly higher than the forces measured in the *kokutsu dachi* stance for left lower limbs ($p = 0.01$) and right lower limbs ($p = 0.007$). The differences in these forces between the left lower limb in *zenkutsu dachi* and the right lower limb in *kokutsu dachi* ($p = 0.018$) and right lower limb in *zenkutsu dachi* and left lower limb in *kokutsu dachi* ($p = 0.004$) were also statistically significant.

In the *kokutsu dachi* stance, anteroposterior GRFs of the right front leg were statistically significantly higher than in the case of the left leg in the *zenkutsu dachi* stance ($p = 0.033$) and than in the case of the right leg in the *zenkutsu dachi* stance ($p = 0.023$). Even though in the anteroposterior plane the highest values were observed in the *kokutsu dachi* stance, special attention should be paid to the values obtained in the *kiba dachi* stance because the lower limbs in this stance are positioned sideways in relation to the direction of the movement of the athlete (see Table 1).

Table 2. Mean and SD values of the relative GRFs of the left (L) and right (R) front leg in basic stances.

Indicator	Lower limb	zenkutsu dachi	kokutsu dachi	kiba dachi
		F [N/kg]		
Vertical component (F_y)	L	31.7 ± 9.1 ^e	28.1 ± 5.4	24.1 ± 3.9
	R	33.4 ± 8.2 ^{cf}	30.7 ± 10.2	25.5 ± 8.0
Lateral component (F_x)	L	4.6 ± 2.3 ^{ab}	2.6 ± 0.9	4.1 ± 1.3
	R	4.7 ± 1.6 ^{ab}	2.7 ± 0.9	4.1 ± 1.7
Anteroposterior component (F_z)	L	9.7 ± 3.0 ^d	12.4 ± 3.9	10.7 ± 2.5
	R	9.5 ± 2.9 ^d	13.7 ± 4.7	10.1 ± 3.8

Significant differences ($p < 0.05$) between the GRFs of the left and right lower limb in basic stances: a) from F_x – left limb – *kokutsu dachi*; b) from F_x – right limb – *kokutsu dachi*; c) from F_y – left limb – *kiba dachi*; d) from F_z – right limb – *kokutsu dachi*. Tendency towards significant difference: e) from F_y – left limb – *kiba dachi*; f) from F_y – right limb – *kiba dachi*.

Out of the 15 Shotokan karate athletes examined, four scored abnormally in the Foot Posture Index Test. In all cases the deviation was symmetrical in both feet. Two athletes were diagnosed with excessive supination (athlete A scored -3p; athlete B scored -2p) and two athletes were diagnosed with excessive pronation (athlete C scored +7p; athlete D scored +9p).

Case analysis showed that athletes with excessive foot supination obtained statistically significantly lower values in the anteroposterior component of the GRF for the *kokutsu dachi* stance. In the case of athlete A this force for the right lower limb was 9.8 N/kg ($p = 0.012$); a tendency to statistically significantly lower values of 10.3 N/kg ($p = 0.08$) was observed for left lower limb. In the case of athlete B this value was 9.5 N/kg for the right lower limb ($p = 0.008$); for left lower limb it was 8.2 N/kg ($p = 0.005$). The mean value of the anteroposterior component of the GRF for the group with a correct FPIT score was 14.6 N/kg for the right limb and 12.8 N/kg for the left limb.

Athletes with excessive foot pronation are characterized by a statistically significantly higher relative value of GRFs for the right lower limb in the anteroposterior plane. In the *kiba dachi* stance the result of athlete C was 12.8 N/kg ($p = 0.026$), while the result of athlete D was 13.5 N/kg ($p = 0.01$) in relation to the mean value for the group with correct foot shape, i.e., 9.5 N/kg.

The data presented in Table 3 shows that not all athletes had symmetric muscle contractures. The Thomas test showed the occurrence of contractures

of the rectus femoris muscle (93% right; 87% left). The percentage of the occurrence of hip abductor contractures in the examined group was different. Depending on the functional test used, the results were as follows: Thomas test: 40% right, 53% left; Ober test: 33% right, 40% left. The occurrence of hip adductor contractures was 60% for the right leg and 73% for the left leg according to the Patrick test.

Moreover, in the *zenkutsu dachi* stance in athletes in whom the Ober test showed muscle contractures of the right limb, significantly higher relative median values of the GRFs for the anteroposterior component were found ($p = 0.024$). Moreover, in the *kokutsu dachi* stance a statistically significantly higher median value of relative GRF for the left lower limb for the anteroposterior component was achieved by the group of athletes with rectus femoris muscle contractures ($p = 0.034$) and the group with hip abductor contractures ($p = 0.039$). In addition, in the *kiba dachi* stance, a statistically significant higher median relative GRF for the right lower limb for the anteroposterior component was found in the men with hip abductor contractures in the Thomas test ($p = 0.008$). A similar effect was obtained for the right lower limb and the lateral-medial component in the Ober test ($p = 0.024$).

DISCUSSION

The generated GRFs during the performance of dynamic transitions in basic karate stances are statistically significantly different. In the *zenkutsu dachi* and *kokutsu dachi* stances their vertical components reach values more than 3 times higher than

Table 3. Differences in median GRFs of the lower limbs for athletes with and without muscle contractures.

Stance	Test	Lower limb	GRF	Median (LQ,UQ) n (without contractures)	Median (LQ,UQ) n (with contractures)	p-value
<i>zenkutsu dachi</i>	Ober hip abductor	R	F_z	7.32 (6.85,8.99) 10	11.86 (11.41,12.71) 5	0.024
<i>kokutsu dachi</i>	Thomas rectus femoris muscle	L	F_z	7.48 (6.79,8.17) 2	13.65 (9.92,14.93) 13	0.034
<i>kokutsu dachi</i>	Ober hip abductor	L	F_z	9.70 (8.82,13.65) 9	15.60 (10.35,18.48) 6	0.039
<i>kiba dachi</i>	Thomas hip abductor	R	F_z	8.31 (7.30,8.59) 9	13.28 (10.89,15.21) 6	0.008
<i>kiba dachi</i>	Ober hip abductor	R	F_x	3.45 (2.50,3.78) 10	4.47 (4.11,5.82) 5	0.024

Tests and muscles / muscle groups for which $p < 0.05$ were selected. Median (LQ,UQ) n – median (LQ,UQ – lower quartile, upper quartile) number of cases; L/R – left / right limb GRF – ground reaction force component; HAM – hip abductor muscles; RFM – rectus femoris muscle

the athletes' body weight. It should also be noted that the human musculoskeletal system is a biokinetic chain, which in consequence causes a strong impact of the feet on the ground, thereby contributing to the loading of the following joints: ankle, knee, hip, and then the spine [21].

Over the years, kata evolved, mainly in terms of the way in which the basic karate stances are performed. Masatoshi Nakayama, taught directly by Gichin Funakoshi, says that the distance between the feet in the *zenkutsu dachi*, *kiba dachi* and *kokutsu dachi* stances should be about 80cm [22]. In practice, the distance between the front foot and the rear foot in the stances depends on the height and skills of a particular athlete [8, 11].

In the *zenkutsu dachi* stance the front knee is bending over, and the backbone is straight. Feet hip-width distance apart. The centre of gravity of the bodyweight is 60% on the front foot and 40% on the rear foot [22]. Comparison of the three basic karate stances leads to the conclusion that in this stance the lower limb is most loaded, which is analogically reflected in the highest value of the vertical component. The study shows that the occurrence of muscle contractures of the thigh abductor muscles leads to an increase in the GRFs in all three components. Therefore, it is important to pay attention to stretching these muscles in order to minimize the loading.

In the *kokutsu dachi* stance it is necessary to bend the knee of the rear leg. The front leg should be projecting forward. The angle between the feet should be close to the right angle. According to the research from 2019, in this position the athlete must maintain an ankle distance of maximum 91 cm for seniors [23]. Body weight distribution: 70% resting on the rear leg and 30% on the front leg [22]. The above-mentioned body weight distribution is reflected in statistically significantly lower values of GRFs of the lateral-medial component. The case study conducted within the scope of the study showed that the athletes whose feet are overly supinated show statistically significantly lower values of the anteroposterior component of the GRFs for the back lower limb in the *kokutsu dachi* stance. However, statistically significantly higher values of the anteroposterior component of the relative GRF in the *kokutsu dachi* stance were observed in the group with rectus femoris and hip abductor contractures. Eliminating these muscle contractures should positively affect the stability of this stance.

In the *kiba dachi* stance the knees are bent, and the body weight should be evenly distributed between both feet. To perform a large stride with the knees bent and feet facing inwards, it is necessary to increase the natural scope [11]. The *kiba dachi* stance is considered unhealthy and dangerous [6]. Fortifying the physical body indirectly means that powerful mentality enhances the body's aptitude to exceed its usual capabilities so that the physical body can gather more energy, pointedness, and power, called "kime" [24]. Performing transitions in conditions similar to sports competition in *kiba dachi* stances involves a high risk of overload changes in knee joints. These joints are anatomically adapted to perform mainly hinge flexion and extension movements. Movement in the *kiba dachi* stance takes place with the lower extremities positioned sideways relative to the direction of movement, which is unnatural (see Table 1). The presence of the anteroposterior component is considered to be particularly dangerous, in that it induces an external knee adduction moment. The values of this component exceed the body weight of the athletes. The study shows that athletes diagnosed with hip abductor contractures generated significantly higher values of these forces. This may indicate that these muscles, due to their shortening, are not able to stop a limb during a dynamic transition, which results in a higher amplitude of the centre of gravity displacement.

According to the study, athletes whose feet are excessively pronated are characterised by a statistically significantly higher value of the anteroposterior component of the GRF in the *kiba dachi* stance, which may be indicative of a lower stability of the position in this direction. However, it may be the case that it was 14 and 22 years of training experience, based on repeated dynamic execution of the *kiba dachi* stance, that led to changes in the shape of the feet towards pronation in these athletes. In order to confirm this hypothesis, it is necessary to carry out tests on a higher number of athletes. Studies carried out in Iran have shown that the genu varum can be considered as an effective factor on vertical GRF as predictor factor of musculoskeletal injuries among the karate professionals [25].

The champion of the world (Luca Valdesi) with 178 cm height performs the *zenkutsu dachi* stance with a distance of 103 cm, *kokutsu dachi* with a distance of 97 cm, and *kiba dachi* with a distance of 117 cm. Gaafar proposed a formula

for achieving ideal lengths in the stances by considering horizontal and vertical distances that should be taken up for basic postures, taking into account the indicators achieved by the world champion [8]. Unfortunately, the exact height of Masatoshi Nakayama is not known, however, assuming the average height of the Japanese at that time (161 cm) according to the Ministry of Internal Affairs and Communications Statistics Bureau and using the formula proposed by Gaafar [8], we can clearly see that, according to the prevailing trends, he would have to extend the basic stances by 10-33% depending on the stance. The form in which karate stances are executed is undoubtedly reflected in the generated GRFs.

Verification of the GRFs in various sports is a commonly used research method [26, 27]. For comparison, the value of the vertical component during barefoot running is 23.4 N/kg at a speed of not less than 4 m/s [28]. As the speed increases, the vertical component of the GRFs increases; at 6 m/s-1 it is 25 N/kg [29]. According to the study, dynamically performed karate stances significantly exceed these values, reaching average values of maximum vertical component of up to 33.4 N/kg (see Table 2). However, execution of straight punches (*zuki*) in the front stance (*zenkutsu dachi*) produces a higher impact force than in the natural stance [30], which is indicative of the fact that karate stances significantly increase the power of the punch, which is why they are justified.

It should be emphasized that the assessment of GRFs among shotokan karate *kata* athletes may allow to verify the correctness of their technique. Additionally, it may be a key tool to

improve athletes' skills by stabilizing the posture and minimizing GRFs. Results of studies comparing postural control in high-level *kata* and *kumite* karatekas show that *kata* athletes have a smaller sway area than *kumite* athletes [14].

In karate, stretching is predominantly used as part of the warm-up process. It is also used at the end of training sessions to improve and/or maintain flexibility [31]. Awareness of the importance of muscle stretching is very high among athletes practising this discipline. However, this study shows that the percentage of people with functional changes in the lower limbs is very high. Many years of *kata* training in shotokan karate may lead to the occurrence of adaptive changes, therefore, even more attention should be paid to prevention through introduction of cyclic examinations of the musculoskeletal system and application of appropriate training based on the obtained results.

CONCLUSIONS

The occurrence of contractions of lower limb muscles in shotokan karate athletes has a statistically significant impact on the increase in the generated ground reaction forces during dynamic transitions in three basic *kata* stances. Therefore, it is possible to prevent lower limb overload changes by eliminating muscle contractures and optimizing the GRFs by repeating the sequences of *kata* movements using measuring platforms.

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors thanks to all the karate athletes who took part in the study.

REFERENCES

1. Słomski G, Szych M. Karate-Do według Szkoły Shotokan systematyka i metodyka. Poznań: Akademia Wychowania Fizycznego w Poznaniu; 1979: 92-93 [in Polish]
2. Imamura H, Yoshimura Y, Nishimura S et al. Physiological responses during and following karate training in women. *J Sports Med Phys Fitness* 2002; 42(4): 431-437
3. Sterkowicz-Przybycień K, Grygiel E. Coping strategies used by professional combat sports fighters vs untrained subjects. *Arch Budo* 2014; 10(1): 17-21
4. Sorensen H, Zacho M, Simonsen E et al. Dynamics of martial arts high frontal kick. *J Sport Sci* 1996; 14(6): 483-495
5. Probst MM, Fletcher R, Seelig DS. A comparison of lower body flexibility, strength, and knee stability between karate athletes and active controls. *J Strength Cond Res* 2007; 21: 451-455
6. Bar-On Cohen E. Kibadachi in karate: pain and crossing boundaries within the 'lived body' and within sociality. *J Roy Anthropol Inst* 2009; 15 (3): 610-629
7. Kotrljanovic A, Atanasov D, Veljovic D et al. An isokinetic profile in senior female and male karate athletes national team level. *Arch Budo Sci Martial Art Extreme Sport* 2016; 12: 203-210
8. Gaafar A. Standard Rate for Some Basic Stances in Karate. *J Appl Sports Sci* 2015; 5(2): 1-7
9. Ardelean, VP, de Hillerin, PJ, Bidiugan R. Study on the possibility of highlighting invariants of motion in martial arts kata exercises. *Arena. J Phys Activ* 2014; 3: 87-97

10. de Souza AV, Viero TF, Marques AM et al. Weight distribution in karate stances: a comparison between experimental and postulated values. *Arch Budo* 2015; 11: 351-358
11. Lisowska A, Ogurkowska B, Gabryelski J. Analysis of the occurrence of musculoskeletal pain in Shotokan karate kata athletes. *J Combat Sports Martial Arts* 2017; 8(2): 77-82
12. Hawrylak A, Chromik K, Barczyk-Pawelec K et al. The spine mobility of karate master class contestants. *Arch Budo* 2017; 13: 343-350
13. European Shotokan Karate-Do Association Competition Rules. Version 3.1, Nov 2017 [accessed 2020 Jul 06]. Available from URL: https://jka-karate.ch/cms1/images/download/schiedsrichter/ESKA_Rules_2017.pdf
14. Gauchard GC, Lion A, Bento L et al. Postural control in high-level kata and kumite karatekas. *Movement Sport Sci* 2018; 2(100): 21-26
15. Imamura H, Yoshimura Y, Uchida K et al. Maximal oxygen uptake, body composition and strength of highly competitive and novice karate practitioners. *Appl Human Sci* 1998; 17(5): 215-218
16. Giampietro M, Pujia A, Bertini I. Anthropometric features and body composition of young athletes practicing karate at a high and medium competitive level. *Acta Diabetol* 2003; 40: 145-148
17. Chaabène H, Hachana Y, Franchini E et al. Physical and Physiological Profile of Elite Karate Athletes. *Sports Med* 2012; 42: 829-843
18. Lisowska A, Murawa M, Ogurkowska M. Isokinetic assessment of knee joint muscles in Shotokan karate kata athletes. *Arch Budo* 2020; 16: 61-66
19. Zatsiorsky V, Kraemer W. Science and practice of strength training. Champaign: Human Kinetics; 2006: 137-153
20. Keenan AM, Redmond AC, Horton M et al. The Foot Posture Index: Rasch analysis of a novel, foot-specific outcome measure. *Arch Phys Med Rehabil* 2007; 88(1): 88-93
21. Zajac F, Neptune R, Kautz S. Biomechanics and muscle coordination of human walking Part I: Introduction to concepts, power transfer, dynamics and simulations. *Gait Posture* 2002; 16(3): 215-232
22. Nakayama M. Dynamiczne Karate. Bydgoszcz: Diamond Books; 1999: 6-18 [in Polish]
23. Ardelean VP, Hillerin PJ, Andrei VL et al. Kinematic analysis of lower limbs movement in some karate techniques. *Eur Proc Soc Behav Sci* 2019; 53-59
24. Bar-On Cohen E. Kime in Japanese martial arts and the moving body. *Body Soc* 2006; 12(4): 73-93
25. Sadeghi H, Shirvanipour S, Mimar R. The Comparison of Vertical Ground Reaction Force during Forward and Backward Walking among the Elites of Male Karatekas with Genu Varum and Normal. *J Sport Biomech* 2017; 3(1): 37-46
26. Abolins V, Bernans E, Lanka J. Differences in vertical ground reaction forces during first attempt of barefoot running in habitual shod runners. *J Phys Educ Sport* 2018; 18(4): 2308-2313
27. Fryzowicz A, Murawa M, Kabaciński J et al. Reference values of spatiotemporal parameters, joint angles, ground reaction forces, and plantar pressure distribution during normal gait in young women. *Acta Bioeng Biomech* 2018; 20(1): 49-57
28. Monaldi M, Alters M, Bowen Ch et al. Biomechanic Analysis of Barefoot vs. Shod Running. *Aquila* 2017
29. Keller TS, Weisberger AM, Ray JL et al. Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1996; 11(5): 253-259
30. de Souza VA, Marques AM, Viero FT et al. Influence of the stances in the straight punch's impact force in karate. *Arch Budo* 2018; 14: 303-310
31. Kurt C. Alternative to traditional stretching methods for flexibility enhancement in well trained combat athletes: local vibration versus whole-body vibration. *Biol Sport* 2015; 32(3): 225-233
32. Dictionary of Sport and Exercise Science. Over 5,000 Terms Clearly Defined. London: A & B Black; 2006
33. Budō: The Martial Ways of Japan. Tokyo: Nippon Budokan Foundation; 2009

Cite this article as: Lisowska A, Fryzowicz A, Mączyński J et al. The ground reaction forces in basic stances in shotokan karate as an effective indicator in the prevention of lower limb pain in competitive athletes. *Arch Budo* 2021; 17: 177-184