

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU FAKULTETA

Odlukom Nastavno-naučnog veća Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja na trećoj sednici održanoj 07. decembra 2023. godine (akt 02-br. 81/23-11 od 12. decembra 2023. godine), a u skladu sa članom 40. Pravilnika o doktorskim akademskim studijama – prečišćen tekst (02-br. 532/22-4 od 09. novembra 2020. godine) i članom 41- 43 Statuta Univerziteta u Beogradu – Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja – prečišćen tekst (02-br. 188/23-2 od 13. februara 2023. godine), na predlog Veća doktorskih akademskih studija (02-br. 81/23-10 od 30. novembra 2023. godine), donelo je odluku za formiranje Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije studentkinje **Vesne Vuković**, pod naslovom:

„KINEMATIC AND TEMPORAL PARAMETERS IN DIFFERENT MODALITIES OF THE REVERSE PUNCH MEASURED BY IMU SENSORS (KINEMATIČKI I VREMENSKI POKAZATELJI UDARCA GJAKU ZUKI U RAZLIČITIM MODALITETIMA IZVOĐENJA MERENI IMU SENZORIMA)“

u sledećem sastavu:

1. Dr Aleksandar Nedeljković, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, predsednik komisije;
2. Dr Miloš Mudrić, vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, član;
3. Dr Nenad Koropanovski, redovni profesor, Kriminalističko-policijski univerzitet, Beograd, član;

Nakon pregledane finalne verzije doktorske disertacije, biografije kandidatkinje i spiska objavljenih radova, Komisija podnosi Nastavno-naučnom veću Fakulteta sledeći

R E F E R A T

UVOD

Kandidatkinja Vesna Vuković je finalnu verziju doktorske disertacije pod naslovom: **„KINEMATIC AND TEMPORAL PARAMETERS IN DIFFERENT MODALITIES OF THE REVERSE PUNCH MEASURED BY IMU SENSORS (KINEMATIČKI I VREMENSKI POKAZATELJI UDARCA GJAKU ZUKI U RAZLIČITIM MODALITETIMA IZVOĐENJA MERENI IMU SENZORIMA)“**, predala arhivi fakulteta dana 21.11.2022. godine. Doktorska disertacija je predana u mekom povezu sa obimom od 110

strana. Doktorska disertacija je urađena u potpunosti u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, kao i sa Uputstvom o formiranju repozitorijuma doktorskih disertacija koji je usvojio Senat Univerziteta u Beogradu. Disertacija je rezultat dosledno realizovanog projekta predviđenog u okviru elaborata teme doktorske disertacije.

Dana 20.11.2023. godine urađen je postupak provere originalnosti podnete doktorske disertacije od strane Univerzitetske biblioteke Svetozar Marković. Ocenu izveštaja o proveri (na osnovu provere uz pomoć specijalizovanog softvera) dao je mentor dr Milivoj Dopsaj, redovni profesor, te je zaključio da se postojeća preklapanja u tekstu ne mogu okarakterisati kao plagijat, s obzirom da su nastala usled korišćenja uobičajenih fraza i izraza.

BIOGRAFIJA KANDIDATKINJE

Vesna Vuković je rođena 25. aprila 1977. godine u Beogradu. Diplomirala je u III beogradskoj gimnaziji 1995. godine. Na osnovnim akademskim studijama Fakulteta za fizičku kulturu i menadžment u sportu iz Beograda diplomirala je 2016. godine. Na istom fakultetu stekla je zvanje magistra fizičkog vaspitanja i sporta 2017. godine. Iste godine upisala je doktorske studije na Fakultetu sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu.

Karateom se aktivno bavi od 1987. godine, kao takmičar, trener i sudija. Zaposlena je u OŠ „Mladost“ kao nastavnik fizičkog i zdravstvenog vaspitanja od 2019. godine.

Vesna Vuković govori engleski jezik.

Naučna produkcija i kompetentnost kandidatkinje:

Kandidatkinja Vesna Vuković je do sada kao autor ili koautor publikovala 12 (dvanaest) naučnih radova:

1. Naučni radovi indeksirani u Web of Science – 4 (četiri)
2. Naučni radovi objavljeni u časopisima nacionalnog značaja - 3 (tri)
3. Naučni radovi prezentovani na kongresima međunarodnog značaja štampani u celini – 4 (četiri)
4. Naučni radovi prezentovani na kongresima međunarodnog značaja štampani u izvodu – 1 (jedan)

Lista objavljenih radova kandidatkinje:

1. **Vuković V**, Koropanovski N. Tehničko-taktičke karakteristike osvajača medalja iz Srbije na Svetskom prvenstvu u karateu 2010. godine u mečevima za medalju. International Scientific Conference: Effects of Physical Activity Application to Anthropological Status with Children, Youth and Adults. 2011;230-237.
2. **Vuković V**, Koropanovski N. Handgrip differences between young karate athletes and non-athletes in relation to gender. XXI Scientific Conference „FIS Communications 2018“; 2018:21-27.
3. Dopsaj M, Marković S, Jovanović J, **Vuković V**, Maksimović M, Miljuš D, Tomanić M, Aničić Z, Tomić L, Stanković A. BMI: Analysis of the Population Indicators in Working Population of the Republic of Serbia in Relation to Gender and Age. Fiz Kul, 2018;72(2), 148–160. <https://doi.org/10.5937/fizkul1802148D>

4. **Vuković V**, Koropanovski N, Markovic S, Umek A. Descriptive profile of the reverse punch (gyako tsuki) kinematic characteristics measured by IMU sensor technology. XXII Scientific Conference „FIS COMMUNICATIONS 2019“. 2019;40-44.
5. Marković S, Dopsaj M, **Vuković V**, Majstorovic N, Koropanovski N, Umek A. Differences in visual reaction time in children and adolescents involved in open skill sports. XXII Scientific Conference „FIS COMMUNICATIONS 2019“. 2019;247-253.
6. **Вуковић В**, Марковић С. Коропановски Н, Миловановић М, Допсај М. Разлике простог и изборног времена реакција код младих каратиста оба пола различитог нивоа обучености. Физ кул. 2019; 73(2): 238-248. <https://doi.org/10.5937/fizkul1902238V>
7. **Vuković V**, Marković S, Koropanovski N, Umek T, Dopsaj M. Reaction Time in Young Karate Athletes in Relation to Gender and Level of Training [Abstract]. In T. Volmut & K. Koren (Eds.), The 10th International Scientific and Professional Conference “Child in Motion” Book of Abstract. 2019;108.
8. Marković S, **Vuković V**, Koropanovski N, Majstorović, N. Differences in Reaction Time Capabilities in Physically Active Subjects of Different Age. Serbian Journal of Sport Science, 2021;12(1):25–30.
9. **Vuković V**, Dopsaj M, Koropanovski N, Marković S, Kos A, Umek A. Metrical characteristics and the reliability of kinematic sensor devices applied in different modalities of reverse punch in karate athletes. Meas. 2021;177: 109315. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109315>
10. Marković S, Kos A, **Vuković V**, Dopsaj M, Koropanovski N, Umek, A. Use of IMU in Differential Analysis of the Reverse Punch Temporal Structure in Relation to the Achieved Maximal Hand Velocity. Sensors, 2021;21(12): 4148. <https://doi.org/10.3390/s21124148>
11. **Vuković V**, Koropanovski N, Marković S, Kos A, Dopsaj M, Umek, A. Specific Test Design for the In-Depth Technique Analysis of Elite Karate Competitors with the Application of Kinematic Sensors. Appl Sci. 2022;12(16):8048.
12. **Vuković V**, Umek A, Dopsaj M, Kos A, Marković S, Koropanovski N. Variability and the Correlation of Kinematic and Temporal Parameters in Different Modalities of the Reverse Punch Measured by Sensors. Appl Sci. 2023;13(18):10348. <https://doi.org/10.3390/app131810348>

STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE

Uvod:

Unapređenje atletskih sposobnosti je od vitalnog značaja za sportiste na svim nivoima takmičenja, bez obzira na njihovu sportsku disciplinu. Fokus treninga varira u različitim sportovima, a u borilačkim sportovima, duboko razumevanje osnovnih tehnika udaranja, kao što udarac kontra rukom iz borbenog stava i garda (gjaku zuki) je ključno za ciljani trening. Karate, posebno, detaljno ispituje kinematičke elemente udarca kontra rukom iz borbenog stava i garda (gjaku zuki), naglašavajući kontrolisano izvođenje bez nanošenja štete protivniku. Postizanje ove ravnoteže zahteva precizne pokrete, brze reakcije i prilagodljivost uslovima borbe. Dok su istraživači istraživali ovaj problem koristeći različite alate, tehnologija mobilnih senzora, sa svojim potencijalom da pruži testiranje u stvarnom svetu bez ometanja izvođenja pokrete, još nije postala glavna u istraživanjima borilačkih sportova.

Karate, prezentovan 1922. godine od strane Funakoši Gičina, evoluirao je tokom jednog veka u sport koji obuhvata dve discipline: kate i borbe. Udarac „gjaku zuki“ značajan je u obe discipline, kako u katama u kojima se koje naglašavaju unapred određene sekvence tako i u borbama koja uključuje dinamične, nepredvidive situacije. Fundamentalni trening karatea naglašava tradicionalne principe, uključujući formu, ravnotežu, snagu i tajming, koji su ključni za efikasno i kontrolisano izvođenje tehnike.

U karate borbi, koju karakterišu promenjivi i dinamični uslovi, aerobna aktivnost igra dominantnu ulogu, pri čemu su udarci rukama češći od udaraca nogama. Elitni borci na šampionatima se često oslanjaju na udarac „gjaku zuki“) prilikom poentiranja, plasirajući ga u regiju tela protivnika. Mehanika udarca uključuje sekvencijalni kinetički lanac koji pokreće donji deo tela, naglašavajući važnost razumevanja linearnih i rotacionih veličina za efikasno izvođenje.

Udarac „gjaku zuki“ je opsežno proučavan kroz različite istraživačke metode i uslove. Različite studije su istraživale aspekte kao što su kinematika, vreme reakcije, sila udarca i brzina, otkrivajući varijacije zasnovane na faktorima kao što su pol, nivoi iskustva i takmičarske postavke. Međutim, kontrolisano okruženje laboratorijskih postavki može da uvede ograničenja koja nisu prisutna u stvarnoj borbi, stvarajući izazove u pružanju sveobuhvatnog kinematičkog prikaza tehnike.

Praćenje promena u parametrima performansi je od ključnog značaja, a istražuje se potencijalno poboljšanje koje donose kinematski senzori (KS). Primena KS u borilačkim sportovima, uključujući i karate, se širi, sa ciljem prevazilaženja ograničenja vezanih za tradicionalne procene i subjektivne trenerske ocene. Međutim, izazovi kao što su visoki nivoi ubrzanja, brzi pokreti i postavljanje uređaja komplikuju primenu kinematičkih senzora. U sportovima na visokom nivou, prilagođen pristup koji se fokusira na kritične faze tehnike je od suštinskog značaja, uzimajući u obzir faktore kao što su radni opseg, frekvencija uzorkovanja i pozicioniranje uređaja kako bi se osigurali pouzdani i primenljivi rezultati.

Problem, predmet, ciljevi i zadaci istraživanja:

Problem istraživanja predstavljaju tehnički aspekti udarca kontra rukom iz borbenog stava i garda usmerenog ka telu kao najzastupljenija tehnika udaraca u sportskoj borbi u karateu. Preciznije, predmet istraživanja je kvalitet tehnike kroz nekoliko modaliteta izvođenja. Cilj istraživanja je procena razlika između kinematičkih i vremenskih pokazatelja udarca kontra rukom izvedenog u različitim modalitetima primenom tehnologije kinematičkih senzora u realnim uslovima izvođenja.

Iz navedenog proizilaze sledeći istraživački zadaci:

- Regrutovanje uzorka;
- Prikupljanje podataka o ispitanicima (telesna težina, telesna visina, godine, godine treninga i iskustva u takmičenju, dominantan borbeni stav);
- Procena kinematičkih i vremenskih karakteristika udarca u različitim modalitetima izvođenja;
- Obrada signala;
- Statistička obrada i analiza podataka

Studija br. 1: Ključni faktor koji određuje uspeh ili neuspeh u takmičenjima na elitnom nivou leži u efikasnosti tehnika vrednih poena. Postizanje izvrsnosti u izvođenju ovakvih tehnika zahteva poštovanje najviših standarda u kinetičkim i kinematičkim osnovama. Da biste stekli

sveobuhvatno razumevanje složenosti uključenih u udarce, od suštinske je važnosti da se merenja sprovedu u okruženju za trening koji blisko odražava uslove iz stvarnog života. Prvi korak ka ovom cilju je upotreba pouzdanog instrumenta, posebno ključnog u borilačkim sportovima gde je istraživanje stvarnih borbenih situacija od velikog značaja. Ova studija je imala za cilj da proceni metričke karakteristike i pouzdanost kinematičkih senzora u specijalno dizajniranim karate testovima, posebno fokusirajući se na procenu njihove tačnosti u uzorkovanju podataka o ubrzanju tokom izvođenja udarca gjaku zuki.

Studija br. 2: Elitni karatisti se stalno suočavaju sa zadatkom poboljšanja svojih sposobnosti za postizanje rezultata u dinamičnim borbenim uslovima. Da bi se poboljšale tehnike, postoji potreba za novim metodološkim pristupom koji uključuje prikupljanje podataka i sveobuhvatnu analizu izvršenja udaraca. S obzirom da ova studija prepoznaje specifičnost borilačkih sportova i visoke zahteve elitnog sporta, zahtevaju se strategije istraživanja koje uzimaju u obzir više faktora. Sa fokusom na biomehaničke aspekte, tehničke karakteristike nosivih kinematičkih uređaja, dinamiku karate borbe, zahteve za bodovanje i okruženje za trening i takmičenje, ova studija predlaže novi metod za prikupljanje podataka. Glavni ciljevi uključuju dobijanje relevantnih parametara za poboljšanje tehnike, analizu početne faze udarca kontra rukom za individualni program obuke i sugerisanje specifične integracije bežičnih senzorskih uređaja zasnovanih na biomehanici udarca.

Studija br. 3: Sprovedeno je ograničeno istraživanje o tome kako pokreti zglobova utiču na efikasnost udarca pre udarca, kao i na odnos između kinematičkih i vremenskih karakteristika udarca gjaku zuki (GZ) – faktora koji su ključni za bodovanje. Iako je segmentalna struktura GZ-a poznata, prošla istraživanja su se pretežno fokusirala na uticaj. Elitni karatisti pokazuju brže reakcije i ubrzanje zglobova, čineći njihove tehnike manje uočljivim za protivnike. Pored toga, oni pokazuju veću ekstenziju ramena i stvaraju veliku preferiranu brzinu za pokrete zglobova. Na kinematiku udarca utiču različite orijentacije zadatka i uslovi izvršenja. Ova studija se bavi nedostatkom u postojećim istraživanjima fokusirajući se na varijabilnost i korelaciju između uočenih kinematičkih parametara i pratećih vremenskih indikatora tela i šake tokom početka izvođenja udarca.

Hipoteze:

Na osnovu pregleda prethodnog istraživanja, postavljene su sledeće hipoteze:

H_g – IMU senzorska tehnologija je validna i diskriminatorska u pogledu specifičnih indikatora udarca kontra rukom (gjaku zuki) u okviru različitih modaliteta izvođenja.

H₁ – Postoji razlika u kinematičkim parametrima u fazi razvoja udarca kontra rukom (gjaku zuki) između testova.

H₂ – Vreme pojavljivanja kinematičkih događaja je strukturirano u prepoznatljivi šablon.

H₃ – Postoji korelacija između kinematičkih i vremenskih parametara tela i šake u fazi razvoja udarca.

Studija br. 1:

Studija br. 1 koju su sprovedeli Vuković i sar. (2021) istražuje poteškoće povezane sa prikupljanjem podataka u realnim sportskim scenarijima, posebno se fokusirajući na karate.

Primarni cilj je da se procene metrička svojstva i pouzdanost kinematičkih senzorskih uređaja koji se koriste u proceni udaraca kontra rukom (gjaku zuki) među karatistima. Istraživanje naglašava značaj sprovođenja kinematičkih merenja u okruženjima koja blisko odražavaju uslove treninga i takmičenja.

U uvodu se ukazuje na jedinstvene karakteristike karatea i drugih borilačkih sportova, naglašavajući udarce kao zajednički i ključni element. Zbog složenosti karate tehnika, posebno udaraca, kinematička analiza postaje neophodna za razumevanje složenih procesa koji su uključeni. Dok se prethodna istraživanja često oslanjaju na kontrolisane laboratorijske postavke, studija prepoznaje ograničenja u repliciranju stvarnih scenarija borbe. Da bi se ovo rešilo, predlaže se upotreba nosivih senzora, posebno inercionih mernih jedinica (IMU). Uprkos potencijalu IMU-a u nauci o sportu, njihovo usvajanje u borilačkim sportovima ostaje ograničeno.

U tekstu se naglašava važnost IMU-a u unapređenju različitih aspekata studija borilačkih sportova, uključujući metode obuke, takmičarske prakse, analizu performansi, procenu tehnike, dizajn opreme i tehničko modeliranje. Studija u skladu sa osnovnim ciljevima koristi različite metode, kao što je pričvršćivanje senzora na takmičarsku opremu za borbe ili samog sportistu. Ključne kinematičke veličine kao što su translaciono i rotaciono ubrzanje, sila i ugao brzine su ključne za razumevanje efikasnosti tehnika udaraca u karateu.

Karate, opisan kao otvorena veština, zahteva efikasno upravljanje većim brojem istovremenih informacija tokom borbe. Složenost karate borbe ogleda se u čestoj nepredvidivosti uslova, stalnim promenama borbenih akcija izvedenih sa različitih distanci, velikim frekvencijama i brzinama različitih tehnika. Studija se posebno fokusira na udarac gjaku zuki (GZ), koji se obično koristi među elitnim karate sportistima. On procenjuje kinematičke parametre GZ-a, prikupljanje podataka o ubrzanju i pouzdanost kinematičkih senzora (KS) u karate testovima.

U odeljku o materijalima i metodama dat je pregled uzorka istraživanja, koji se sastoji od četrnaest reprezentativaca Srbije u karateu, i detalji o metodama merenja, korišćenim uređajima i postupcima testiranja. Studija ispituje tri modaliteta udarca kontra rukom, od kojih svaki uključuje različite stavove i pokrete. IMU senzori, sa specifičnim karakteristikama i frekvencijama uzorkovanja, koriste se za prikupljanje podataka. Složena obrada podataka, uključujući filtriranje i analizu varijabli kretanja, sprovodi se pomoću MathCAD paketa.

U zaključku, studija ima za cilj da doprinese razumevanju karate tehnika, posebno udarca kontra rukom, procenom metričkih osobina i pouzdanosti kinematičkih senzora u realističnim testovima. Upotreba IMU-a i nosivih senzora se smatra ključnom za unapređenje biomehaničkog razumevanja i poboljšanje treninga i prakse takmičenja u karateu.

Studija meri nekoliko varijabli u vezi sa ubrzanjem i za torzo i za ruke, fokusirajući se na trenutak udara za precizno merenje vremena. Deskriptivna statistička analiza i neparametarski testovi se koriste za ispitivanje neobrađenih podataka i procenu pouzdanosti kinematskih senzora kroz metodologiju test-retest. Studija koristi različite statističke analize, uključujući koeficijent korelacije unutar klase (ICC), Kronbahov Alfa, Pirsonov koeficijent korelacije i ANOVA.

Tabele 5.1 i 5.2 predstavljaju fundamentalnu deskriptivnu analizu i procenjuju tačnost kinematskih senzora, respektivno. Rezultati ukazuju na dobru pouzdanost za osam kinematičkih varijabli i odličnu pouzdanost za deset, naglašavajući pogodnost KS za elitne sportiste. Studija identifikuje odstupanja u tehnici, sa većom složenošću pokreta koja odgovara izraženijim promenama konzistencije.

Studija sugerise da vremenski parametri pokazuju nižu stabilnost u poređenju sa ubrzanjem, što utiče na vrednosti pouzdanosti. Nosivi senzori su odobreni za merenje kinematičkih parametara, nudeći pouzdan alat za otkrivanje suptilnih tehničkih razlika. GTC u pokretu

(GTCIM) i Horizontalno ubrzanje rukom (AccHk) pokazali su najveću pouzdanost među modalitetima i kinematičkim varijablama, naglašavajući značaj nosivih uređaja na dominantnoj osi udarca. Međutim, niža pouzdanost je primećena kod udarca Gjaku zuki čudan bez učešća kuka (GTCNH) zbog jasnog i preciznog pokreta ruke. Studija naglašava korisnost i poučnost podataka dobijenih korišćenjem KS, uprkos varijacijama u pouzdanosti.

Štaviše, studija sugerira da je ubrzanje pouzdanija metrika od vremena za identifikaciju razlika u udarcu, pri čemu je AccHk identifikovan kao varijabla sa najvećom homogenošću. Naglašene su razlike između modaliteta i broja pokušaja potrebnih za pouzdane podatke, naglašavajući važnost razumevanja i tumačenja podataka za efikasno planiranje obuke i individualizovano treniranje. Studija priznaje ograničenja kao što je mala veličina uzorka i sugerira da bi buduća istraživanja trebala da obuhvate veći i raznovrsniji skup učesnika, uključujući različite tehničke modalitete koji liče na stvarnu obuku i takmičarska okruženja.

Studija br. 2:

U studiji br. 2 koju su sproveli Vuković i sar. (2022), autori predstavljaju prepoznatljivo istraživanje elitnih karate takmičara, koristeći kinematičke senzore za sprovođenje temeljne analize izvođenja udaraca. Studija je predstavljena u časopisu Applied Sciences, <https://doi:10.3390/app12168048>.

Uvod naglašava stalni pritisak na karatiste da poboljšaju poentiranja u dinamičnim uslovima borbe i predlaže inovativni pristup prikupljanju podataka i analizi izvođenja udaraca. Studija se fokusira na razvojnu fazu udaraca, ocrtavajući deset specifičnih testova koji predstavljaju različite modalitete izvođenja.

U uvodnom delu (6.1), tekst govori o strogim standardima koje se pridržavaju elitnih sportista i subjektivnim ocenama trenera u tradicionalnom treningu. Naglašava zamršenost analize tehnika borbenih sportova, posebno udaraca kontra rukom gjaku zuki (GZ) u karateu, zbog metodoloških izazova. Karate borba na elitnom nivou zahteva prilagodljivost u poenima u ograničenim vremenskim intervalima. U tekstu se predlaže Internet stvari (IoT) kao potencijalno rešenje za informacije u realnom vremenu u borilačkim sportovima, uvažavajući složenost analize kinematike zglobova u realnim uslovima.

Tekst naglašava ograničenu primenu kinematičkih senzora (KS) u borilačkim sportovima, pripisujući to poteškoćama u hvatanju velikih ubrzanja, brzih pokreta i ponovljenih rotacija tipičnih za borilačke sportove. Studija predlaže specifičan referentni okvir za sveobuhvatno ispitivanje tehnike kako bi se pozabavile varijacijama u specifikacijama uređaja koje su primećene u prethodnim studijama.

Prelaskom na metodologiju (6.2), studija uključuje analizu slučaja vešto obučenog karatiste, fokusirajući se na varijable koje se odnose na ubrzanje, brzinu i ugao rotacije tela. Ima za cilj da ispita razvojnu fazu udarca kontra rukom, hipotezujući razlike u kinematici između modaliteta i uočljiv obrazac u vremenu kinematičkih događaja.

Procedura opisuje protokol testiranja, karakteristike učesnika, odabrane varijable i 10 modaliteta performansi koji predstavljaju različite uslove izvršenja. Testiranje se pridržava pravila takmičenja, naglašavajući faktore kao što su forma, sportski duh, napor, svest o situaciji, tajming i udaljenost.

Ukratko, Studija #2 ima za cilj da unapredi razumevanje izvođenja udaraca među elitnim karate takmičarima, koristeći kinematičke senzore i specifične modalitete testiranja. Inovativni pristup studije i sveobuhvatna metodologija imaju za cilj da doprinesu vrednim uvidima u biomehaniku karate tehnika, posebno udarac kontra rukom gjaku zuki.

U ovoj studiji korišćena su dva kinetička senzora, jedan pričvršćen za ruku, a drugi za torzo (vidi sliku 6.1). Integracija ViFi komunikacionih modula omogućila je prikupljanje podataka i prenos u namenski LabVIEW program na laptopu. Podaci o nosivom uređaju su obrađeni, a eksperimentalni protokol je pažljivo regulisan u intervalima od 5 milisekundi. Komunikacija se odvijala preko protokola korisničkih datagrama (UDP) širom industrijskog, naučnog i medicinskog (ISM) opsega, koristeći mehanizme za ispravljanje grešaka da bi se zamenio potencijalni gubitak podataka. Monitoring kvaliteta kanala pružio je ubedljive dokaze o validnosti rezultata.

Da bi se snimili testovi, dve kamere su postavljene 2 metra od učesnika, podignute 1,3 metra iznad zemlje i postavljene bočno sa obe strane sportiste. Aplikacija LabVIEW sinhronizovala je signale različitih senzora sa signalom video kamere, nudeći prednosti u odnosu na aplikacije samo sa sensorima, uključujući mogućnost kombinovanja slika sa dve kamere i omogućavanja prepoznavanja akcija u realnom vremenu.

Metodologija se ističe u integraciji različitih izvora i heterogenih informacija, kombinovanju slika i inercijalnih podataka radi poboljšanja tačnosti. Četiri modaliteta podataka su vremenski sinhronizovana, čime je smanjena nesigurnost u dobijenim podacima. Vremenske oznake su olakšale sinhronizaciju između okvira kamere u sekundi (FPS) i brzine uzorkovanja senzora. Podaci za svaki modalitet tehnike i ispitivanje su snimljeni u .avi i .MP4 video datotekama i .tdms datotekama koristeći LabVIEW.

U Pozicioniranju senzora (6.2.4), studija se bavi nedostatkom temeljnog istraživanja o upotrebi nosivih kinematičkih senzora u karateu. Razmatranja za postavljanje senzora uključuju sekvencijalni obrazac kretanja tela, eliminaciju faktora smetnji, sprečavanje negativnog uticaja na performanse i odabir ekonomičnog rešenja. Studija identifikuje optimalne pozicije senzora na osnovu biomehaničkih razmatranja, fokusirajući se na kinetički lanac i lokaciju sa najvećom optimalnošću za dobijanje reprezentativnih podataka.

Metodologija naglašava obezbeđivanje senzora za optimalno pričvršćivanje tokom eksplozivnih pokreta, na kraju ih pozicionirajući između drugog i trećeg lumbalnog pršljena na leđima sportiste i na dorzalnoj strani pesnice za udaranje unutar drugog i četvrtog koštanog metakarpalnog zgloba.

U obradi i analizi podataka (6.2.5), studija koristi signale akcelerometra za procenu tehničkih performansi, primenom niskopropusnog filtera za ublažavanje detekcije pogrešnog događaja. Podaci se podvrgavaju naknadnoj obradi pomoću MathCAD 7 softvera, koristeći statističku analizu preko Microsoft Excel-a, predstavljajući podatke koristeći deskriptivnu statistiku (MEAN \pm SD).

Primarni fokus je bio da se ukaže na jaz u znanju o udarcu gljaku zuki (GZ) u vezi sa pojavom kinematičkih i vremenskih veličina. Kroz deset testova i korišćenje senzora, studija je identifikovala značajne promene u posmatranim količinama. Istraga je otkrila vremenska odstupanja, što ukazuje na osetljivost senzora na varijacije u složenosti zadataka.

Priznata su ograničenja studije, naglašavajući potrebu za raznovrsnijim uzorkom i sveobuhvatnom analizom. Studija je zaključena potvrđivanjem važnosti ciljanog testiranja i senzorske tehnologije u prikupljanju podataka, nudeći uvid u trening i borbene scenarije u karateu. Predložena metodologija uzima u obzir biomehaničke aspekte i praktičnu ekspertizu u karateu, obezbeđujući ekonomičan i lak pristup.

U završnim odeljcima su navedeni predloženi testovi i njihove varijacije, nudeći detaljan protokol za procenu GZ-a u različitim kontekstima. Studija je predložila sistem zasnovan na biomehaničkim principima, naglašavajući pouzdanost, ergonomski dizajn, optimalnost i

jednostavnost upotrebe postavljanja senzora. Studija je prepoznala potencijalni uticaj predložene metodologije na trening i takmičenje u karateu, naglašavajući njenu relevantnost i važnost u poboljšanju scenarija vežbanja.

Studija br. 3:

Studija br. 3, koju su vodili Vuković i saradnici, istražuje ograničena postojeća istraživanja o uticaju pokretljivosti zglobova na efikasnost udarca. Studija se posebno koncentriše na odnos između kinematičkih i vremenskih varijabli udarca gjaku zuki (GZ), koji je ključan prilikom poentiranja. Primarni cilj je da se proceni uticaj isključivanja ili uključivanja segmenata tela na različite kinematičke parametre kao što su ubrzanje, brzina, ugao rotacije i vreme izvršenja. Istraga takođe nastoji da identifikuje potencijalne korelacije između ovih varijabli.

Uvod naglašava kritičnu ulogu kinematičkih i vremenskih aspekata u postizanju povoljnih rezultata u karate borbi. Tradicionalne metode istraživanja, često ograničene na laboratorijske postavke, priznate su zbog svojih ograničenja, a studija se zalaže za upotrebu kinematičkih senzora (KS) za prikupljanje podataka na licu mesta. Ovaj pristup nudi objektivne procene i poboljšanu procenu pokreta, adresirajući potrebu za sveobuhvatnim razumevanjem kinematike udarca u katama i borbama.

Istraživanje naglašava rasprostranjenost udaraca na vrhunskim takmičenjima u karateu, pri čemu GZ značajno doprinosi prilikom osvajanja poena. Studija tvrdi da veza između kinematičkih i vremenskih veličina u strukturi udarca ostaje nedovoljno proučena i identifikuje maksimalnu linearnu brzinu zgloba kod elitnih sportista. Takođe se priznaje uticaj takmičarskog iskustva na neuromišićnu kontrolu i performanse.

Razmatraju se različite metodologije istraživanja, uključujući tradicionalne biomehaničke metode i nove tehnologije kao što su nosivi senzori. Studija se zalaže za upotrebu KS tehnologije u borbenim scenarijima za neinvazivno prikupljanje podataka. Izazovi tradicionalnih istraživačkih metoda i biomehaničkih studija GZ prepoznati su kao oblasti koje zahtevaju sistematsko istraživanje.

Studija prikazuje njen doprinos, uključujući metodologiju prilagođenu korisniku, uvid u razvojnu fazu GZ-a i istraživanje ključnih parametara za performanse tehnike. Odeljak o materijalima i metodama predstavlja kvazi-eksperimentalni pristup koji uključuje sedam visokokvalifikovanih reprezentativaca Srbije. Pridržavaju se etičkih smernica, a studija nudi deskriptivnu statistiku grupe učesnika i ističe njihova dostignuća i iskustvo.

U suštini, Studija #3 ima za cilj da popuni praznine u postojećim istraživanjima ispitivanjem kinematičkih i vremenskih parametara udaraca kontra rukom u realnim sportskim scenarijima, doprinoseći dragocnim uvidima u razumevanje izvođenja udaraca u karateu.

Učesnici su prošli standardizovanu 15-minutnu sesiju zagrevanja, uključujući opšte vežbe, nakon čega su uvežbavali udarce različite tehničke složenosti. Metodologija odražava trening karatea, počevši od početnih vežbi i napredujući do naprednih scenarija koji simuliraju uslove borbe.

Testiranje je uključivalo dva početna položaja za tri GZ modaliteta. Učesnici su izveli tri uzastopna udarca nakon zvučnog signala, sa kriterijumima uspeha zasnovanim na tehničkim standardima.

Kinematska svojstva GZ merena su korišćenjem dva pouzdana KS na trupu i udarnom pesnicom. Podaci senzora su sinhronizovani sa dve kamere postavljene strateški. Ključne merene kinematičke komponente bile su ubrzanje, brzina i rotacija tela, zajedno sa vremenskim parametrima.

Studija je uključila sveobuhvatan pristup za analizu kinematičkih i vremenskih aspekata reverznih udaraca, uzimajući u obzir različite modalitete i koristeći rigorozne statističke metode za interpretaciju.

Deskriptivna statistika za kinematičke i vremenske veličine u tri GZ modaliteta otkrila je značajne razlike u sva tri modaliteta. Dalja analiza je otkrila značajne varijacije u specifičnim varijablama među modalitetima, pri čemu RPH i RPSM imaju najmanju veličinu efekta.

Delimična korelacija ranga otkrila je velike korelacije između specifičnih varijabli, objašnjavajući značajan deo posmatrane varijanse. Primarni rezultati uključuju značajne disparitete izazvane modalitetom, više vremenske doslednosti u izazovnim modalitetima i značajne korelacije između količina tela i ruku.

U diskusiji su analizirane razlike u vremenskim i kinematičkim varijablama, naglašavajući značaj donjeg dela tela u uspehu udarca. Vremenske varijable su pokazale konzistentnost u zahtevnim modalitetima, a korelacije između vremenskih i kinematičkih varijabli su pokazale pozitivnu vezu, objašnjavajući značajan deo uočene varijanse.

Doprinosi studije uključivali su napredak u sinhronizaciji podataka u realnom vremenu za sportska istraživanja i uvid u performanse udaraca koji se mogu primeniti izvan karatea. Ograničenja su uključivala ograničenu veličinu uzorka i polnu zastupljenost, nedostatak specifičnih ciljeva i jaz u korišćenju senzora u borilačkim sportovima.

U zaključku, studija je otkrila značajne modalitetno indukovane varijacije u parametrima GZ-a, naglašavajući važnost režima izvršavanja i pružajući vredne uvide kako za obuku tako i za istraživanje u borilačkim sportovima.

Dodatna razmatranja:

Istraživanje izuzetnih sportista u sportu pruža istraživačima jedinstven i vredan uzorak za dubinsko istraživanje složenih pitanja u okviru njihovih svakodnevnih aktivnosti. Iako ovaj pristup ima ograničenja, on nudi prednosti u uspostavljanju osnova, identifikovanju potencijalnih problema i usmeravanju budućih studija za smislenije rezultate.

Studije o kojima je bilo reči predstavljaju samo deo potencijala obuhvaćenih predloženom metodologijom. Temeljna analiza osnovnih deskriptivnih rezultata za učesnike otkriva različite podatke i individualne varijacije kroz karate veštinu (KS). Pažljivo tumačenje ovih rezultata je neophodno kako bi se izbegle generalizacije i sugerisale implikacije za teoriju i praksu u istraživanju i obuci borilačkih sportova.

Studija odvojeno ispituje statičke i dinamičke modalitete testiranja, nudeći uvid u osnove karate tehnike i njene primene u borbenim situacijama. Analizirano je izvođenje udarca tri borca, navodeći opisne karakteristike karatista (KA) kao što su starost, visina, telesna masa i iskustvo.

Tabela 8.2.1 ilustruje karakteristike vremenskih parametara za trojicu sportista u šest testova. Iako postoje neke sličnosti u ukupnoj strukturi vremenske linije, vreme pojavljivanja je ključno, što ukazuje na varijacije u kinematičkoj strukturi i potencijalnim rezultatima performansi.

Analiza ulazi u srž performansi udarca gjaku zuki (GZ), naglašavajući važnost nižeg kinetičkog lanca. Zahvaćenost donjeg dela tela utiče na brzinu udarca, podržana podacima o brzini tela (BV) i uglu rotacije tela (BRa). Studija istražuje značaj pokreta kuka u izvođenju RP.

Ispitivanje dinamičkih testova otkriva karakteristične obrasce izvođenja udaraca među sportistima, sugerišući lične potpise u performansama GZ-a. Uprkos nekim opštim sličnostima strukture vremenske linije, struktura vremenske linije svakog sportiste je jedinstvena, odražavajući varijacije u kinematičkim vrednostima. Studija naglašava uticaj uključivanja kinetičkog lanca na performanse GZ-a, uspostavljaajući individualne potpise u različitim modalitetima i uslovima.

Prelazak sa statičkih na dinamičke modalitete testiranja utiče na izvođenje udaraca u uslovima borbe. Sportisti izvode udarce kontra rukom (gjaku zuki) na karakterističan način, sa razlikama u maksimalnim kinematičkim vrednostima. Studija sugeriše da različiti uslovi testiranja i ciljevi zadatka čine poređenje izazovnim.

Prikazana je deskriptivna statistika za senzore ruku i tela, naglašavajući informativni potencijal različitih kinematičkih podataka dobijenih tokom specifičnih borbenih merenja. Signali brzine šake, trajanje izvođenja udaraca i vreme do maksimalne brzine šake daju vredan uvid u performanse sportista.

Istraživanje je imalo za cilj da ispita izvođenje udarca kontra rukom (gjaku zuki) kod pojedinaca sa izuzetnim kvalitetima, koristeći metodološki pristup fokusiran na prikupljanje dokaza iz više izvora. Nalazi su naglasili važnost prikupljanja podataka in situ u realističnim postavkama performansi za razumevanje odnosa između segmenata kinetičkog lanca i uočenih kinematičkih dispariteta.

Ukratko, studija doprinosi poboljšanju treninga i takmičarske prakse za karate sportiste elitnog nivoa, razumevanju kinematičkih i vremenskih obrazaca udaraca, poboljšanju procedura testiranja i poboljšanju kontrole i performansi udarca kroz nove pristupe. Individualni pristup poboljšanju tehnike zasnovan na ličnim potpisima je istaknut kao vitalan za dizajn treninga na najvišem sportskom nivou.

LITERATURA:

Na osnovu analize korišćene literature, može se zaključiti da je predstavljena u obimu od 137 referentnih jedinica, od kojih je 129 iz inostranih izvora, dok je 6 iz domaće bibliografije. Od ukupnog broja referenci, kandidatkinja Vesna Vuković je kao autor ili koautor učestvovala u izradi 4 bibliografske jedinice. Činjenica da je kandidatkinja do sada objavila i direktno citirala četiri (4) referentne jedinice iz oblasti teme doktorske disertacije upućuje na zaključak motivisane i već značajno naučno dokazane ličnosti.

ZAKLJUČAK I PREDLOG KOMISIJE

Studentkinja VESNA VUKOVIĆ je ispunila sve Zakonom predviđene uslove za sticanje prava za odbranu doktorske disertacije. Njeni profesionalni i značajni naučno-istraživački rezultati, a naročito u odnosu na fenomenologiju merenja performansi u sportu u celini je preporučuju kao adekvatnu kandidatkinju u odnosu na datu oblast. Kandidatkinja se u okviru akademskog i naučnog usavršavanja opredelila da se u kontinuitetu usavršava u datoj oblasti.

Komisija je jednoglasna u oceni da doktorska disertacija ima značajan doprinos u odnosu na istraživanja koja se bave problematikom aplikativne primene kinematičkih senzora u merenju performansi u sportu. Ovom disertacijom se obezbeđuje kontinuitet usavršavanja sa aspekta date problematike, te komisija smatra da će dobijeni rezultati na generalnom nivou sumarno doprineti poboljšanju primene kinematičkih senzora u specifičnim zadacima u karateu.

Na osnovu ukupne kvalitativne i kvantitativne analize sadržaja doktorske disertacije, stručnog, naučnog i praktičnog rada kandidatkinje, Komisija je jednoglasna u oceni da je studentkinja Vesna Vuković ispunila sve zakonske i naučne zahteve koji se od nje u smislu pisanja doktorske disertacije traže, te istu, pod nazivom: „KINEMATIC AND TEMPORAL PARAMETERS IN DIFFERENT MODALITIES OF THE REVERSE PUNCH MEASURED BY IMU SENSORS (KINEMATIČKI I VREMENSKI POKAZATELJI UDARCA GJAKU ZUKI U RAZLIČITIM MODALITETIMA IZVOĐENJA MERENI IMU SENZORIMA)“ dostavlja Nastavno – naučnom veću fakulteta na usvajanje i prosleđivanje u dalju proceduru.

U Beogradu, 19.02.2024.

Članovi Komisije

Dr Aleksandar Nedeljković, redovni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i
fizičkog vaspitanja, predsednik komisije

Dr Miloš Mudrić, vanredni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i
fizičkog vaspitanja, član

Dr Nenad Koropanovski, redovni profesor,
Kriminalističko-policijski univerzitet,
Beograd, član

TO THE TEACHING-SCIENTIFIC COUNCIL OF THE FACULTY

By the decision of the Teaching-Scientific Council of the Faculty at the third session held on December 07th, 2023 (act 02-no. 81 / 23-11 of December 12th, 2023), and in accordance with Article 40 of the Rulebook on doctoral academic studies - consolidated text (02-no. 532 / 22-4 of November 9th, 2020) and Articles 41-43. Statute of the University of Belgrade - Faculty of Sports and Physical Education - consolidated text (02-no. 188 / 23-2 of February 13th, 2023), at the proposal of the Council of Doctoral Academic Studies (02-no. 81 / 23-10 of November 30th, 2023), a decision was made to establish a Committee for Review, Evaluation and Defense of doctoral dissertation of student Vesna Vukovic, entitled:

„KINEMATIC AND TEMPORAL PARAMETERS IN DIFFERENT MODALITIES OF THE REVERSE PUNCH MEASURED BY IMU SENSORS (KINEMATIČKI I VREMENSKI POKAZATELJI UDARCA GJAKU ZUKI U RAZLIČITIM MODALITETIMA IZVOĐENJA MERENI IMU SENZORIMA)“

The Committee members are:

4. Dr Aleksandar Nedeljković, full professor, University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education, chair;
5. Dr Miloš Mudrić, associate professor, University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education, member;
6. Dr Nenad Koropanovski, full professor, University of Criminal Investigation and Police Studies, Belgrade, member;

After reviewing the final version of the doctoral dissertation, candidate's biography and list of published papers, the Committee submits to the Teaching-Scientific Council of the Faculty the following

REPORT

INTRODUCTION

Candidate Vesna Vuković submitted the final version of the doctoral dissertation entitled: **„KINEMATIC AND TEMPORAL PARAMETERS IN DIFFERENT MODALITIES OF THE REVERSE PUNCH MEASURED BY IMU SENSORS (KINEMATIČKI I VREMENSKI POKAZATELJI UDARCA GJAKU ZUKI U RAZLIČITIM MODALITETIMA IZVOĐENJA MERENI IMU SENZORIMA)“**, on November 21st, 2022. The doctoral dissertation was submitted in soft cover with a volume of 110 pages. The doctoral

dissertation was done in full accordance with the Rulebook on Doctoral Studies of the Faculty of Sports and Physical Education, as well as with the Instruction on the formation of the repository of doctoral dissertations adopted by the Senate of the University of Belgrade. The dissertation is the result of a consistently realized project envisaged within the study of the topic of the doctoral dissertation. On November 20, 2023, the procedure of verifying the originality of the submitted doctoral dissertation was done by the University Library Svetozar Marković. The evaluation of the verification report (based on the verification with the help of specialized software) was performed by the supervisor Dr Milivoj Dopsaj, full professor, who concluded that the existing text overlapping of 22% cannot be characterized as a plagiarism since they are the results of use of common phrases.

THE BIOGRAPHY OF THE CANDIDATE

Vesna Vuković was born on April 25th 1977. in Belgrade. She graduated in 1995. from III Belgrade High School. In 2016. she graduated from basic academic studies at the Faculty of Physical culture and management in sports, in Belgrade. At the same university, she earned the title of Master of Physical Education and Sports in 2017. She enrolled the doctoral studies at the Faculty of Sports and Physical Education University of Belgrade in same year.

She has been actively engaged in karate since 1987., as a competitor, coach and referee. She has been employed in elementary school „Mladost“ as a teacher of Physical and Health Education since 2019.

She speaks English language.

Scientific production and competence of the candidate:

So far, candidate Vesna Vuković has published 12 (twelve) scientific research papers as an author or co-author.

1. WoS list indexed papers – 4 (four),
2. Papers in journals of national importance – 3 (three),
3. Papers presented at congresses of international importance and published in proceedings – 4 (four),
4. Papers presented at congresses of international importance and published in proceedings as abstracts – 1 (one).

The list of papers published by the candidate is as follows:

13. **Vuković V**, Koropanovski N. Tehničko-taktičke karakteristike osvajača medalja iz Srbije na Svetskom prvenstvu u karateu 2010. godine u mečevima za medalju. International Scientific Conference: Effects of Physical Activity Application to Anthropological Status with Children, Youth and Adults. 2011;230-237.
14. **Vuković V**, Koropanovski N. Handgrip differences between young karate athletes and non-athletes in relation to gender. XXI Scientific Conference „FIS Communications 2018“; 2018:21-27.
15. Dopsaj M, Marković S, Jovanović J, **Vuković V**, Maksimović M, Miljuš D, Tomanić M, Aničić Z, Tomić L, Stanković A. BMI: Analysis of the Population Indicators in Working

- Population of the Republic of Serbia in Relation to Gender and Age. *Fiz Kul*, 2018;72(2), 148–160. <https://doi.org/10.5937/fizkul1802148D>
16. **Vuković V**, Koropanovski N, Markovic S, Umek A. Descriptive profile of the reverse punch (gyako tsuki) kinematic characteristics measured by IMU sensor technology. XXII Scientific Conference „FIS COMMUNICATIONS 2019". 2019;40-44.
 17. Marković S, Dopsaj M, **Vuković V**, Majstorovic N, Koropanovski N, Umek A. Differences in visual reaction time in children and adolescents involved in open skill sports. XXII Scientific Conference „FIS COMMUNICATIONS 2019". 2019;247-253.
 18. **Вуковић В**, Марковић С. Коропановски Н, Миловановић М, Допсај М. Разлике простог и изборног времена реакција код младих каратиста оба пола различитог нивоа обучености. *Физ кул*. 2019; 73(2): 238-248. <https://doi.org/10.5937/fizkul1902238V>
 19. **Vuković V**, Marković S, Koropanovski N, Umek T, Dopsaj M. Reaction Time in Young Karate Athletes in Relation to Gender and Level of Training [Abstract]. In T. Volmut & K. Koren (Eds.), *The 10th International Scientific and Professional Conference “Child in Motion” Book of Abstract*. 2019;108.
 20. Marković S, **Vuković V**, Koropanovski N, Majstorović, N. Differences in Reaction Time Capabilities in Physically Active Subjects of Different Age. *Serbian Journal of Sport Science*, 2021;12(1):25–30.
 21. **Vuković V**, Dopsaj M, Koropanovski N, Marković S, Kos A, Umek A. Metrical characteristics and the reliability of kinematic sensor devices applied in different modalities of reverse punch in karate athletes. *Meas.* 2021;177: 109315. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109315>
 22. Marković S, Kos A, **Vuković V**, Dopsaj M, Koropanovski N, Umek, A. Use of IMU in Differential Analysis of the Reverse Punch Temporal Structure in Relation to the Achieved Maximal Hand Velocity. *Sensors*, 2021;21(12): 4148. <https://doi.org/10.3390/s21124148>
 23. **Vuković V**, Koropanovski N, Marković S, Kos A, Dopsaj M, Umek, A. Specific Test Design for the In-Depth Technique Analysis of Elite Karate Competitors with the Application of Kinematic Sensors. *Appl Sci*. 2022;12(16):8048.
 24. **Vuković V**, Umek A, Dopsaj M, Kos A, Marković S, Koropanovski N. Variability and the Correlation of Kinematic and Temporal Parameters in Different Modalities of the Reverse Punch Measured by Sensors. *Appl Sci*. 2023;13(18):10348. <https://doi.org/10.3390/app131810348>

STRUCTURE OF THE DOCTORAL DISSERTATION

Introduction:

Enhancing athletic abilities is vital for athletes at all competition levels, irrespective of their sports discipline. The training focus varies across sports, and in combat sports, a profound understanding of fundamental punching techniques, such as the reverse punch, is crucial for targeted training. Karate, in particular, extensively examines the reverse punch's kinematic elements, emphasizing controlled execution without causing harm to the opponent. Achieving this balance demands precise movements, rapid reactions, and adaptability to fight conditions. While researchers have explored this challenge using various tools, wearable sensor technology, with its

potential to provide real-world testing without affecting movements, has not yet become mainstream in combat sports research.

Karate, introduced in 1922 by Funakoshi Gichin, has evolved over a century into a multifaceted sport encompassing kata and kumite. The reverse punch holds significance in both disciplines, with kata emphasizing predetermined sequences and kumite involving dynamic, unpredictable combat settings. Fundamental training in karate emphasizes traditional principles, including form, balance, power, and timing, crucial for efficient and controlled technique execution.

In karate kumite, where fights involve constant modifications and dynamic conditions, aerobic activity plays a predominant role, with punches being more frequent than kicks. Elite fighters at championships often rely on the reverse punch for body scoring. The punch's mechanics involve a sequential kinetic chain initiated by the lower body, highlighting the importance of understanding linear and rotational quantities for effective delivery.

The reverse punch has been extensively studied through various research methods and conditions. Different studies have explored aspects such as kinematics, reaction time, punch force, and velocity, revealing variations based on factors like gender, experience levels, and competitive settings. However, the controlled environments of laboratory settings may introduce constraints not present in actual combat, raising challenges in providing a comprehensive kinematic illustration of the technique.

Monitoring changes in performance parameters is crucial, and the potential enhancement brought by kinematic sensors (KS) is being explored. The utilization of KS in combat sports, including karate, is expanding, with the aim of overcoming limitations associated with traditional assessments and subjective coach evaluations. However, challenges such as high acceleration levels, rapid movements, and device placement complicate the application of kinematic sensors. In high-level sports, a tailored approach focusing on critical technique stages is essential, considering factors like operating range, sampling frequency, and device positioning to ensure reliable and applicable results.

Research Problem, Subject, Aims and Tasks:

The technical aspects of the reverse punch aiming at the body, the most dominant punching technique in sports karate fights, are the research problem. To be more specific, the subject of the research is the quality of technique across several performance modalities. The aim of the research is to assess the differences between the kinematic and temporal indicators of RP in different modalities by applying the kinematic sensor technology in realistic performance conditions.

The following research tasks arise from the above:

- Sample recruitment;
- Sample data collection (body weight, body height, age, years of training and competition experience, dominant fighting stance);
- Estimation of kinematic and temporal characteristics of the punch in different performance modalities;
- Signal processing;
- Statistical data processing and analysis

Study #1: The crucial factor determining success or failure in elite-level competitions lies in the effectiveness of point-worthy techniques. Achieving excellence in executing such techniques

demands adherence to the highest standards in both kinetic and kinematic foundations. To gain a comprehensive understanding of the complexities involved in punches, it is essential to conduct measurements in a training environment closely mirroring real-life conditions. The initial step towards this goal is the use of a reliable instrument, particularly crucial in combat sports where researching actual combat situations holds significant importance. This study aimed to assess the metric characteristics and reliability of kinematic sensors in specially designed karate tests, specifically focusing on evaluating their accuracy in capturing acceleration data during the execution of the gyako tsuki punch.

Study #2: Elite karate athletes consistently face the challenge of improving their scoring capabilities in dynamic fighting environments. To enhance techniques, there is a need for a new methodological approach that involves data collection and a comprehensive analysis of punch execution. Considering the potential of the Internet of Things (IoT) as a solution, this study recognizes the specificity of combat sports and the high demands of elite sports, necessitating research strategies that consider multiple factors. With a focus on biomechanical aspects, wearable kinematic devices' technical characteristics, the dynamism of karate combat, scoring requirements, and training and competition environments, this study proposes a novel method for data acquisition. The main objectives include obtaining relevant parameters for technique improvement, analyzing the initial stage of the reverse punch for an individualized training program, and suggesting the specific integration of wireless sensor devices based on punch biomechanics.

Study #3: Limited research has been conducted on how joint motion influences the effectiveness of a punch before impact, as well as the relationship between kinematic and temporal characteristics of a reverse punch (RP) – factors crucial for scoring points. While the segmental structure of RP is known, past research has predominantly focused on impact. Elite karate athletes exhibit faster reactions and wrist acceleration, making their techniques less noticeable to opponents. Additionally, they demonstrate greater shoulder extension and generate a high preferred velocity for joint movements. The kinematics of the punch are influenced by different task orientations and execution conditions. This study addresses the gap in existing research by focusing on the variability and correlation between observed kinematic parameters and accompanying temporal indicators of body and hand during the initiation of punch execution.

Hypotesis:

Based on a review of a previous research, the following hypotheses have been set:

H_g – IMU sensor technology is valid and discriminatory with the respect to the specific indicators of the reverse punch and within different modalities of performance.

H₁ – There is a difference in the kinematic parameters in the developmental phase of the reverse punch between the tests.

H₂ – The appearance time of the kinematic events is structured in a recognisable pattern.

H₃ – There is a correlation between the kinematic and temporal parameters of the body and

hand in the developmental phase of punch.

Study #1:

Study #1 conducted by Vuković et al. (2021) explores the difficulties associated with data acquisition in real-world sports scenarios, specifically focusing on karate. The primary objective is to assess the metrical properties and reliability of kinematic sensor devices used in evaluating reverse punches among karate athletes. The research underscores the significance of conducting kinematic measurements in settings closely mirroring training and competitive conditions.

The introduction highlights the unique characteristics of karate and other combat sports, emphasizing punches as a common and crucial element. Due to the complexity of karate techniques, particularly punches, kinematic analysis becomes essential for understanding the intricate processes involved. While previous research often relies on controlled laboratory settings, the study recognizes the limitation in replicating actual fighting scenarios. To address this, the use of wearable sensors, specifically inertial measurement units (IMUs), is proposed. Despite the potential of IMUs in sports science, their adoption in combat sports remains limited.

The text emphasizes the importance of IMUs in enhancing various aspects of combat sports studies, including training methods, competition practices, performance analysis, technique evaluation, equipment design, and technical modeling. The study employs different methods, such as attaching sensors to fighting equipment or athletes, based on its objectives. Key kinematic quantities like translational and rotational accelerations, force, and angular velocities are crucial for understanding the efficiency of karate punching techniques.

Karate, described as an open skill, demands effective management of multiple concurrent information pieces during a fight. The unpredictability of fighting conditions, constant changes in actions from different distances, and the high frequency and speed of techniques contribute to the complexity of karate fights. The study focuses specifically on the reverse punch (RP), which is commonly used among elite karate athletes. It evaluates RP's kinematic parameters, acceleration data acquisition, and Kinematic Sensors' (KS) reliability in karate tests.

The materials and methods section outlines the research sample, comprising fourteen male athletes from the Serbian national karate team, and details measurement methods, devices used, and testing procedures. The study examines three modalities of the reverse punch, each involving different stances and movements. IMU sensors, with specific features and sampling frequencies, are used for data acquisition. Downstream processing, including filtering and analysis of motion variables, is conducted using the MathCAD package.

In conclusion, the study aims to contribute to understanding karate techniques, specifically reverse punches, by evaluating Kinematic Sensors' metrical properties and reliability in realistic tests. The use of IMUs and wearable sensors is deemed crucial for advancing biomechanical understanding and improving training and competition practices in karate.

The study measures several acceleration-related variables for both the torso and hands, focusing on the moment of impact for precise time measurement. Descriptive statistical analysis and nonparametric tests are used to examine raw data and assess the reliability of Kinematic Sensors through test-retest methodology. The study employs various statistical analyses, including the intraclass correlation coefficient (ICC), Cronbach's Alpha, Pearson correlation coefficient, and ANOVA.

Tables 5.1 and 5.2 present fundamental descriptive analysis and assess the accuracy of Kinematic Sensors, respectively. The results indicate good reliability for eight kinematic variables

and excellent reliability for ten, emphasizing the suitability of KS for elite athletes. The study identifies technique discrepancies, with greater motion complexity corresponding to more pronounced consistency changes.

The study suggests that time parameters exhibit lower stability compared to acceleration, influencing reliability values. Wearable sensors are endorsed for measuring kinematic parameters, offering a reliable tool to detect subtle technical differences. GTC in Motion (GTCIM) and Horizontal Hand Acceleration (AccHx) demonstrated the highest reliability across modalities and kinematic variables, highlighting the significance of wearable devices on the dominant axis of the punch. However, lower reliability was observed in Gyako Tsuki Chudan No Hip (GTCNH) due to clear and precise arm movement. The study underscores the usefulness and instructiveness of data gained using KS, despite variations in reliability.

Furthermore, the study suggests that acceleration is a more reliable metric than time for identifying punch differences, with AccHx identified as the variable with the highest homogeneity. Differences between modalities and the number of attempts required for reliable data are highlighted, emphasizing the importance of understanding and interpreting data for effective training planning and individualized coaching. The study acknowledges limitations such as a small sample size and suggests future research should include a larger and more diverse participant pool, incorporating various technical modalities resembling actual training and competitive settings.

Study #2:

In Study #2 conducted by Vuković et al. (2022), the authors present a distinctive investigation into elite karate competitors, utilizing kinematic sensors to conduct a thorough analysis of punch execution. The study is outlined in the Applied Sciences journal (12(16), <https://doi:10.3390/app12168048>).

The introduction underscores the constant pressure on karate athletes to improve scoring in dynamic fighting conditions and proposes an innovative approach to data acquisition and punch execution analysis. The study focuses on the developmental phase of punches, delineating ten specific tests representing diverse execution modalities.

In the introduction section (6.1), the text discusses the stringent standards maintained by elite athletes and the subjective evaluations by coaches in traditional training. It emphasizes the intricacies of analyzing combat sports techniques, particularly the reverse punch (RP) in karate, due to methodological challenges. Elite-level karate combat necessitates adaptability in scoring actions within limited time intervals. The text suggests the Internet of Things (IoT) as a potential solution for real-time information in combat sports, acknowledging the complexity of analyzing joint kinematics under realistic conditions.

The text highlights the limited application of kinematic sensors (KS) in combat sports, attributing it to difficulties in capturing high acceleration, quick motions, and repeated rotations typical of combat sports. The study proposes a specific reference frame for comprehensive technique examination to address variations in device specifications observed in prior studies.

Transitioning to the methodology (6.2), the study involves a case analysis of a skilled karate athlete, focusing on variables related to acceleration, velocity, and body rotation angle. It aims to examine the developmental phase of the reverse punch, hypothesizing differences in kinematics across modalities and a discernible pattern in the timing of kinematic events.

The procedure outlines the testing protocol, participant characteristics, selected variables, and the 10 performance modalities representing different execution conditions. Testing adheres to

competition rules, emphasizing factors like form, sportsmanship, effort, situational awareness, timing, and distance.

In summary, Study #2 aims to advance the understanding of punch execution among elite karate competitors, utilizing kinematic sensors and specific testing modalities. The study's innovative approach and comprehensive methodology aim to contribute valuable insights to the biomechanics of karate techniques, particularly the reverse punch.

In this study, two kinetic sensors were employed, one attached to the hand and the other to the torso (see Figure 6.1). Integration of WiFi communication modules enabled data acquisition and transmission to a dedicated LabVIEW for Loops program on a laptop. The wearable device data were processed, and the experimental protocol was meticulously regulated with 5-millisecond intervals. Communication occurred through the User Datagram Protocol (UDP) across the Industrial, Scientific, and Medical (ISM) band, employing error-correcting mechanisms to replace potential data loss. Monitoring channel quality provided conclusive evidence on result validity.

To capture the tests, two cameras were positioned 2 meters away from the participant, elevated 1.3 meters above the ground and placed laterally on both sides of the athlete. The LabVIEW application synchronized signals from various sensors with the video camera signal, offering advantages over sensor-only applications, including the ability to combine images from two cameras and enable real-time action recognition.

The methodology excels in integrating diverse sources and heterogeneous information, combining pictures and inertial data to enhance accuracy. Four data modalities were temporally synchronized, mitigating uncertainty in the acquired data. Time stamps facilitated synchronization between camera frames per second (FPS) and sensor sampling rate. Data for each technique modality and trial were recorded in .avi and .MP4 video files and .tdms files using LabVIEW.

In Sensor Positioning (6.2.4), the study addresses the lack of thorough research on the use of wearable kinematic sensors in karate. Considerations for sensor placement include the sequential pattern of bodily movement, elimination of interference factors, preventing adverse impact on performance, and opting for a cost-effective solution. The study identifies optimal sensor positions based on biomechanical considerations, focusing on the kinetic chain and the location with the highest optimality for obtaining representative data.

The methodology emphasizes securing sensors for optimal attachment during explosive movements, ultimately positioning them between the second and third lumbar vertebrae on the athlete's back and on the dorsal side of the punching fist within the second and fourth osseous metacarpals.

In Data Processing and Analysis (6.2.5), the study uses accelerometer signals to evaluate technical performance, applying a low-pass filter to mitigate erroneous event detection. The data undergoes post-processing with MathCAD 7 software, employing statistical analysis through Microsoft Excel, presenting data using descriptive statistics (MEAN \pm SD).

The primary focus was to address the knowledge gap regarding the Reverse Punch (RP) concerning the emergence of kinematic and temporal quantities. Through ten tests and sensor utilization, the study identified significant changes in observed quantities. The investigation revealed temporal discrepancies, indicating sensors' sensitivity to variations in task complexity.

Limitations of the study were acknowledged, emphasizing the need for a more diverse sample and comprehensive analysis. The study concluded by asserting the importance of targeted testing and sensor technology in collecting data, offering insights for training and combat scenarios in karate. The proposed methodology considers biomechanical aspects and practical karate expertise, providing a cost-effective and user-friendly approach.

The concluding sections outlined suggested tests and their variations, offering a detailed protocol for evaluating the RP in different contexts. The study proposed a system grounded in biomechanical principles, emphasizing the reliability, ergonomic design, optimality, and ease of use of the sensor placement. The study recognized the potential impact of the proposed methodology in karate training and competition, highlighting its relevance and importance in enhancing practice scenarios.

Study #3:

Study #3, led by Vuković et al., explores the limited existing research on the impact of joint mobility on punch efficiency. The study specifically concentrates on the relationship between kinematic and temporal variables in reverse punches (RP), crucial for scoring outcomes. The primary objective is to evaluate the influence of excluding or including body segments on various kinematic parameters like acceleration, velocity, rotation angle, and execution timing. The investigation also seeks to identify potential correlations among these variables.

The introduction underscores the critical role of kinematic and temporal aspects in achieving favorable results in karate combat. Traditional research methods, often confined to laboratory settings, are acknowledged for their limitations, and the study advocates for the use of kinematic sensors (KS) for in-situ data collection. This approach offers objective assessments and improved motion estimation, addressing the need for a comprehensive understanding of punch kinematics in both kata and kumite.

The research emphasizes the prevalence of punches in top-level karate competitions, with RP being a significant contributor to points. The study contends that the association between kinematic and temporal quantities in punch structure remains understudied, and it identifies the maximum wrist linear velocity in elite athletes. The impact of competitive experience on neuromuscular control and performance is also acknowledged.

Various research methodologies, including traditional biomechanical methods and emerging technologies like wearable sensors, are discussed. The study advocates for the use of KS technology in combat scenarios for non-invasive data collection. Challenges posed by traditional research methods and the biomechanical study of RP are recognized as areas requiring systematic investigation.

The study outlines its contributions, including a user-friendly methodology, insights into the developmental phase of the RP, and an exploration of crucial parameters for technique performance. The materials and methods section introduces a quasi-experimental approach involving seven highly skilled male athletes from the Serbian national team. Ethical guidelines are adhered to, and the study offers descriptive statistics of the participant group and highlights their achievements and experience.

In essence, Study #3 aims to fill gaps in existing research by examining the kinematic and temporal parameters of reverse punches in real-life sporting scenarios, contributing valuable insights to the understanding of punch execution in karate.

The participants underwent a standardized 15-minute warm-up session, including general exercises, followed by practicing punching techniques of varying technical complexity. The methodology mirrors karate training, starting with beginner exercises and progressing to advanced scenarios simulating fighting scenarios.

Testing involved two initial postures for three RP modalities. Participants executed three consecutive punches after an auditory signal, with success criteria based on technical standards.

Kinematic properties of RP were measured using two reliable KS on the torso and punching fist. The sensors' data were synchronized with two cameras positioned strategically. Key kinematic components measured were acceleration, velocity, and body rotation, along with temporal parameters.

The study incorporated a comprehensive approach to analyze the kinematic and temporal aspects of reverse punches, considering different modalities and employing rigorous statistical methods for interpretation.

Descriptive statistics for kinematic and temporal quantities in three RP modalities revealed significant differences across all three modalities. Further analysis uncovered significant variations in specific variables among modalities, with RPH and RPSM having the smallest effect size.

Partial rank correlation revealed large correlations between specific variables, explaining a substantial portion of observed variance. The primary results include significant modality-induced disparities, more temporal consistency in challenging modalities, and significant correlations between body and hand quantities.

In the discussion, differences in temporal and kinematic variables were analyzed, emphasizing the importance of the lower body in punch success. Temporal variables showed consistency in demanding modalities, and correlations between temporal and kinematic variables indicated a positive relationship, explaining a substantial portion of observed variance.

The study's contributions included advancements in real-time data synchronization for sports research and insights into punch performance applicable beyond karate. Limitations included a restricted sample size and gender representation, lacking specific goals, and a gap in sensor utilization in combat sports.

In conclusion, the study revealed significant modality-induced variations in RP parameters, emphasizing the importance of execution mode and providing valuable insights for both training and research in combat sports.

Additional considerations:

Investigating exceptional athletes in sports provides researchers with a unique and valuable sample for in-depth exploration of complex issues within their daily activities. While this approach has limitations, it offers advantages in establishing foundations, identifying potential issues, and guiding future studies for more meaningful outcomes.

The discussed studies represent only a portion of the potential covered by the proposed methodology. A thorough analysis of basic descriptive results for participants reveals diverse data and individual variations through the Karate Skill (KS). Careful interpretation of these results is necessary to avoid generalizations and suggest implications for theory and practice in combat sports research and training.

The study examines static and dynamic test modalities separately, offering insights into the fundamentals of karate technique and its application in combat situations. Three team fighters' punch execution is analyzed, outlining descriptive characteristics for karate athletes (KA) such as age, height, body mass, and experience.

Table 8.2.1 illustrates personal signatures in temporal parameters for three athletes across six tests. While some similarities exist in the overall timeline structure, the timing of appearance is crucial, indicating variations in kinematic structure and potential performance outcomes.

The analysis delves into the core of reverse punch (RP) performance, highlighting the importance of the lower kinetic chain. Lower body involvement affects punch velocity, supported

by data on body velocity (BV) and body rotation angle (BRa). The study explores the significance of hip movement in RP execution.

Examining dynamic tests reveals distinctive punch execution patterns among athletes, suggesting personal signatures in RP performance. Despite some overall timeline structure similarities, each athlete's timeline structure is unique, reflecting variations in kinematic values. The study emphasizes the influence of kinetic chain inclusion on RP performance, establishing individual signatures across different modalities and conditions.

Transitioning from static to dynamic test modalities influences punch execution in kumite surroundings. Athletes execute reverse punches in a distinctive manner, with differences in maximum kinematic values. The study suggests that different testing conditions and task objectives make comparisons challenging.

Descriptive statistics for hand and body sensors are presented, emphasizing the informative potential of diverse kinematic data acquired during specific combat measurements. Hand velocity signals, punch execution duration, and time to maximum hand velocity provide valuable insights into athletes' performance.

The research aimed to examine the execution of reverse punches in individuals with exceptional qualities, utilizing a methodological approach focused on gathering evidence from multiple sources. The findings emphasized the importance of capturing in situ data in realistic performance settings for understanding the relationship between kinetic chain segments and observed kinematic disparities.

In summary, the study contributes to improving training and competitive practice for elite-level karate athletes, understanding kinematic and temporal punch patterns, enhancing testing procedures, and improving punch control and performance through novel approaches. The individualized approach to technique improvement based on personal signatures is highlighted as vital for training design at the highest sports level.

LITERATURE:

Based on the analysis of the used literature, it can be concluded that it is presented with a volume of 137 reference units, of which 129 are from foreign sources, while 6 are from domestic bibliography. Out of the total number of references, the candidate Vesna Vuković, as an author or co-author, participated in the creation of 4 bibliographic items. The fact that the candidate has so far published and directly cited four (4) reference units in the field of the topic of the doctoral dissertation points to the conclusion of a motivated and already significantly scientifically proven person.

CONCLUSION AND PROPOSAL OF THE COMMITTEE

Student VESNA VUKOVIĆ fulfilled all the conditions provided by the Law for acquiring the right to defend his doctoral dissertation. His professional and significant scientific-research results, especially in relation to the phenomenology of measuring performance in sports as a whole, recommend her as an adequate candidate in relation to the given field. Within the framework of academic and scientific work, the candidate decided on the continuity of improvement in the given field.

The Committee is unanimous in its assessment that the doctoral dissertation has a significant contribution in relation to research that deals with the issue of application of kinematic sensors in measurement of performance in sports. This dissertation provides continuity of improvement from the aspect of the given area, and the Committee believes that the obtained results will generally contribute to the improvement of the application of kinematic sensors in karate-specific tasks.

Based on the overall qualitative and quantitative analysis of the content of the doctoral dissertation, professional, scientific and practical work of the candidate, the Committee is unanimous in assessing that student Vesna Vuković has met all legal and scientific conditions required of him in terms of writing a doctoral dissertation entitled: „KINEMATIC AND TEMPORAL PARAMETERS IN DIFFERENT MODALITIES OF THE REVERSE PUNCH MEASURED BY IMU SENSORS (KINEMATIČKI I VREMENSKI POKAZATELJI UDARCA GJAKU ZUKI U RAZLIČITIM MODALITETIMA IZVOĐENJA MERENI IMU SENZORIMA)“. Thus, the Commission submits it to the Teaching - Scientific Council of the Faculty for adoption and forwarding for further procedure.

Belgrade, 19.02.2024.

Committee Members:

Dr Aleksandar Nedeljković, full professor,
University of Belgrade, Faculty of Sport and
Physical Education, chair

Dr Miloš Mudrić, associate professor,
University of Belgrade, Faculty of Sport and
Physical Education, member

Dr Nenad Koropanovski, full professor,
University of Criminal Investigation and Police
Studies, Belgrade, member
