

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za šport
Podiplomski magistrski študij: kineziologija

**POVEZANOST KINEMATIČNIH SPREMENLJIVK Z
USPEŠNOSTJO ROTACIJSKE TEHNIKE SUVANJA KROGLE PRI
VRHUNSKIH METALCIH**

MAGISTRSKO DELO

Avtor dela
SEVERIN LIPOVŠEK, prof.šp.vzg.

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za šport
Podiplomski magistrski študij: kineziologija

**POVEZANOST KINEMATIČNIH SPREMENLJIVK Z USPEŠNOSTJO
ROTACIJSKE TEHNIKE SUVANJA KROGLE PRI VRHUNSKIH METALCIH**

MAGISTRSKO DELO

MENTOR

prof.dr. Milan Čoh, prof.šp.vzg.

Avtor dela

SEVERIN LIPOVŠEK, prof.šp.vzg.

Ljubljana, 2016

Magistrska naloga Povezanost kinematičnih spremenljivk z uspešnostjo rotacijske tehnike suvanja krogle pri vrhunskih metalcih je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

ZAHVALA

Posebna zahvala gre prof. dr. Milanu Čohu, ki je kljub časovni stiski prevzel mentorstvo ter verjel vame in v to magistrsko delo. Profesor, hvala vam!

Prav tako se moram zahvaliti Stanku Štuhcu, ki mi je v času podiplomskega študija nesebično pomagal pri številnih projektih, tako z znanjem kot z možnostjo uporabe visoko tehnološke opreme za meritve.

Še zadnji zahvali gresta prof. dr. Branku Škofu, ki mi je pomagal skozi celoten študij na fakulteti v raznih oblikah, kot tudi dr. Samu Rauterju za pomoč pri statistični obdelavi podatkov.

Vsem še enkrat najlepša hvala!

POVEZANOST KINEMATIČNIH SPREMENLJIVK Z USPEŠNOSTJO ROTACIJSKE TEHNIKE SUVANJA KROGLE PRI VRHUNSKIH METALCIH

Severin Lipovšek

IZVLEČEK

Namen magistrske naloge je bil ugotoviti in potrditi vpliv ter povezanost kinematičnih parametrov na uspešnost v suvanju krogle pri vrhunskih metalcih, ki uporabljajo rotacijsko tehniko metanja krogle. V dosedanjih raziskavah na tem področju je bilo pokazanih več kinematičnih parametrov, ki definirajo uspešnost v suvanju krogle. Večina teh izbranih dejavnikov zaobjema le izmetno fazo meta, ki predstavlja samo del celotne gibalne sekvence. Tako nas je v tej nalogi še posebej zanimalo, ali obstajata povezanost in vpliv kinematičnih dejavnikov na rezultatsko uspešnost v suvanju krogle z rotacijsko tehniko, ki niso vezani le na izmetno akcijo, temveč tudi na predhodne faze meta.

Vzorec v nalogi je obsegal 10 vrhunskih metalcev krogle z rotacijsko tehniko, ki so tekmovali na Zimskem evropskem prvenstvu v metih v Splitu leta 2008. Atlete smo razvrstili v skupino elitnih metalcev ($n=6$) ter skupino sub-elitnih metalcev ($n=4$). Snemanje smo opravili z dvema sinhroniziranimi visokofrekvenčnima kamerama, ki sta bili postavljeni pod kotom 45 stopinj in 135 stopinj glede na smer meta. Kinematična analiza je bila narejena s pomočjo programskega paketa APAS. V nalogi smo preverjali 22 kinematičnih parametrov. Za ugotavljanje razlik v vrednosti kinematičnih parametrov med dvema skupinama merjencev (elitni in sub-elitni) smo uporabili t test za neodvisne vzorce. Za ugotavljanje povezanosti izbranih kinematičnih parametrov s končnim rezultatom smo uporabili Pearsonov koeficient korelacije, za izračun vpliva izbranih kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost pa smo uporabili statistično metodo linearne regresije (metoda Enter).

Rezultati t testa za neodvisne vzorce so pokazali statistično značilne razlike v aritmetičnih sredinah med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev krogle pri šestih kinematičnih parametrih. Izračun Pearsonovega korelacijskega koeficienta pa je potrdil statistično značilno povezanost devetih kinematičnih parametrov s končnim uspehom. Nadalje smo z uporabo linearne regresije izračunali vpliv izbranih kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost v suvanju krogle z rotacijsko tehniko v več modelih. Z modelom, kjer so bile zajete kinematične spremenljivke, ki določajo mehanske zakonitosti poševnega meta, smo pojasnili 94,6% tekmovalne uspešnosti. Omenjeni model je bil statistično značilen, kot tudi preostali izračunani modeli. Izjema je bil le model, ki je vseboval kinematične parametre faze obrata in prehitevanja orodja. Tam statistične značilnosti nismo pokazali.

Ključne besede: kinematika, suvanje krogle, rotacijska tehnika, tekmovalna uspešnost

INFLUENCE OF BIOMECHANICAL FACTORS ON COMPETITIVE SUCCESS WITH THE ROTATIONAL SHOT PUT TECHNIQUE IN ELITE THROWERS

Severin Lipovšek

ABSTRACT

The aim of this study was to determine and confirm the influence and correlation of kinematic parameters on the success in shot put at top-level athletes with rotational technique. Research on this field to date showed many different kinematic parameters defining shot-put success. Most of these selected factors capture only the release phase, representing only one part of the whole motion sequence. For this reason, the greatest interest in this work was to find out whether there exist the correlation and influence of kinematic factors on the results in shot put with rotational technique that are related not only to the release action, but also to the preliminary phases of the shot.

The study's model consists of 10 top-level putters with rotational technique competing at the 2008 European Cup Winter Throwing in Split. Athletes were classified into a group of elite throwers ($n=6$) and a group of sub-elite throwers ($n=4$). The recordings were made with two synchronised high-frequency cameras, placed at 45° and 135° angles in relation to the putting direction. Kinematic analysis was done with the APAS software. In this work 22 kinematic parameters were tested. To determine the difference in kinematic parameters value between the two groups of throwers (elite and sub-elite) the t test for independent samples was used. To establish the correlations between the selected kinematic parameters and the final result the Pearson's coefficient of correlation was used, and for calculation of the importance of the individual biomechanical parameters a linear regression method was used (Enter method).

The results of the t test for independent samples showed statistically significant differences in arithmetic means between the elite and sub-elite throwers in six kinematic parameters. The calculation of Pearson's coefficient of correlation confirmed statistically significant correlation of nine kinematic parameters with the final result. The influence of selected kinematic parameters on competitive success in shot put with rotational technique was calculated with the use of linear regression in different models. With parameters that determine projectile motion, we managed to explain 94.6 % of competitive success. The model was statistically significant, as all the other models, except the one, which included kinematic parameters of the preparatory phase.

Keywords: *kinematics, shot put, rotational technique, competitive success*

KAZALO

1. UVOD	10
2. PREDMET IN PROBLEM	13
2.1. Suvanje krogle z rotacijsko tehniko	13
2.2. Zakonitosti, ki določajo uspešnost v metih	16
2.2.1. Tekmovalna pravila	16
2.2.2. Antropometrično – motorični dejavniki	17
2.2.3. Biomehanski dejavniki	18
2.3. Dosedanje raziskave	23
2.4. Problem raziskovanja	29
3. CILJI IN HIPOTEZE	31
4. METODE DELA	32
4.1. Vzorec merjencev	32
4.2. Merilni postopek	33
4.3. Vzorec spremenljivk	33
4.4. Metode obdelave podatkov	39
5. REZULTATI	41
5.1. DESKRIPTIVNI STATISTIČNI PARAMETRI	41
5.2. RAZLIKE V KINEMATIČNIH PARAMETRIH MED SKUPINAMA ELITNIH IN SUB-ELITNIH METALCEV	45
5.3. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV S KONČNIM REZULTATOM	47
5.3.1. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV FAZE OBRATA IN PREHITEVANJA ORODJA S KONČNIM REZULTATOM	48
5.3.2. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV FAZE MAKSIMALNEGA NAPORA S KONČNIM REZULTATOM	48
5.3.3. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV IZMETA KROGLE S KONČNIM REZULTATOM	50
5.3.4. KORELACIJE KINEMATIČNIH PARAMETROV	50
5.3.5. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV S KONČNIM REZULTATOM V SKUPINI ELITNIH IN SUB-ELITNIH METALCEV	52
5.4. VPLIV KINEMATIČNIH PARAMETROV NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE Z ROTACIJSKO TEHNIKO	54

5.4.1. VPLIV KINEMATIČNIH PARAMETROV, KI DOLOČAJO MEHANSKE ZAKONITOSTI META, NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE	55
5.4.2. VPLIV IZBRANIH KINEMATIČNIH PARAMETROV NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE	56
5.4.3. VPLIV IZBRANIH KINEMATIČNIH PARAMETROV FAZE OBRATA IN PREHITEVANJA ORODJA NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE	57
5.4.4. VPLIV IZBRANIH KINEMATIČNIH PARAMETROV FAZE MAKSIMALNEGA NAPORA NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE	58
5.4.5. VPLIV IZBRANIH KINEMATIČNIH PARAMETROV V IZMETU NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE	59
6. RAZPRAVA	61
6.1. ANALIZA REZULTATOV DESKRIPTIVNE STATISTIKE	62
6.2. ANALIZA RAZLIK V KINEMATIČNIH PARAMETRIH MED SKUPINAMA ELITNIH IN SUB-ELITNIH METALCEV KROGLE	66
6.3. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV S KONČNO DOLŽINO META	69
6.4. VPLIV IZBRANIH KINEMATIČNIH PARAMETROV NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE Z ROTACIJSKO TEHNIKO	72
7. SKLEP	75
8. VIRI	78
9. PRILOGE	82

1. UVOD

Fenomen, ki ga posplošeno imenujemo šport – športna dejavnost – športna kultura – izvira iz človekove biti (Vodeb, 2005). S športom človek ustvarja specifičen svet, z merili, lastnimi športu. Svet športa je le eden od mnogih svetov, ki jih ustvarjamo na raznih področjih dela, kulture, znanosti, umetnosti, je hkrati resničen in domišljjski. V igri, igrivosti duha je vedno izziv za ustvarjalno delo in bogatenje duha z ustvarjanjem brezštevlnih domišljjskih svetov. Kaj točno šport oz. športna dejavnost sploh je, zanima in je zanimalo številne ljudi, ki so že od nekdaj poskušali razvozlati ta fenomen. Pri tem je nastalo tudi veliko razlag in definicij; Kristan je šport definiriral kot prostovoljno pristočasno gibalno tekmovalno in netekmovalno dejavnost, ki se je človek udeležuje iz igralnih nagibov in katere glavni namen je razvedriti in hkrati povečevati ali ohranjati človekove telesne zmogljivosti (bodisi zaradi uravnovešenega biopsihosocialnega razvoja in stanja, boljših gibalnih dosežkov ali dejavnega počitka in obnove moči). Izraz tekmovalnost je treba razumeti v najširšem pomenu te besede: kot tekmovalnost s samim seboj, tekmovalnost z drugimi in tekmovalnost z naravo. K tako opredeljeni gibalni dejavnosti je treba šteti vse procese, pojave in odnose, ki se vežejo na takšno gibalno dejavnost. Če takšen razširjen sklop pojavov, procesov in odnosov ustreza splošno veljavnim aksiološkimi merilom, govorimo tudi o športni kulturi (Kristan, 2000).

Vsak vrhunski šport ima neko osnovno značilnost (Kovač, 1995). Vselej gre za neko visoko in resnično izjemno raven obvladovanja nekega športnega gibanja, veščine oziroma športne tehnike. Vrhunski dosežki imajo v športu svoj prostor, ne kot sejem močnih mišic in razčlovečenih robotov, temveč kot širjenje meja ustvarjalnosti posameznika, s katero se ta vključuje v nacionalno in občloveško kulturo. Ni vrhunstva, s tem pa tudi ne vrhunškega športnika, ki to vrhunstvo udejanja, brez možnosti za trdo delo, sposobnosti samoodrekanja, občutka za razdelitev časa, sposobnosti delovanja v skupini, možnosti koordinacije z drugimi, samozavesti in duhovnega bogastva, ki izhaja iz iskanja skrajnih meja človeških zmogljivosti. Vrhunski dosežki v športu so, zlasti v zadnjih desetletjih, dokazali, da so avtonomna in avtohtona oblika specifičnega kulturnega ustvarjanja, ki ima lastne kriterije vrednotenja.

Namen in cilj tekmovalnega športa in s tem tekmovalca, trenerja, kluba, države in sponzorjev je biti uspešen, biti najboljši, tako v domačem kot mednarodnem športnem prostoru. Nastopi in uvrstitve športnikov so z razmahom medijske tehnologije dostopni širši športni javnosti, ki kritično ocenjuje njihovo delo in rezultate.

Med najbolj razširjene in tekmovalno razvite športe sodi atletika. Atletike se drži oznaka »kraljica vseh športov«. Atletika kot šport je naravna posledica človekove potrebe po gibanju, pa tudi dediščina človekovega razvoja od davnine, ko je hkrati razvijal razmišljanje in primerno gibanje za preživetje. Bežal je ali lovil, je tekkel, preskakoval ovire, prav tako je metal primerna orodja in orožja.

Atletika kot najbolj planetarna športna panoga sedanjega trenutka ima bogato zgodovino, ki sega že v obdobje antične Grčije. Nedvomno so antične olimpijske igre s svojo idejno zasnovo in vsebino odločujoče vplivale na sodobno atletiko. Takratna tekmovanja v tekih, metih in skokih so v mnogočem podobna današnjim atletskim disciplinam, ki gotovo pomenijo osrednjo točko programa olimpijskih iger moderne dobe.

Atletiko uvrščamo v skupino monostrukturnih športov, za katere je značilna struktura cikličnega in acikličnega gibanja. Osnovni cilj je premagovanje prostora z lastnim telesom ali s predmetom, ki ga mečemo. Atletika je zelo specifična heterogena športna panoga in je osnova številnim drugim športnim panogam, kar utemeljuje struktura atletske motorike. Za razliko od drugih športnih zvrsti jo sestavljajo številne atletske discipline. Te delimo v tri osnovne skupine: teki, skoki in meti. V slednjo spada tudi suvanje krogle.

Suvanje krogle uvrščamo med aciklična gibanja translatornega tipa atletskega disciplin. Ne glede na njeno prirodnost gibanja pa je kot disciplina v programu atletike zelo zahtevna tako s koordinacijskega vidika kot z vidika učenja tehnike. Ta disciplina zahteva mnogo sposobnosti, ki so zelo širokega motoričnega spektra in jih mora metalec med sunkom uskladiti v sintetično celoto. Gibi potekajo po načelu zaporednosti in po načelu vzporednosti. Med seboj si faze sledijo v zelo kratkih časovnih intervalih (čas sunka v drugem delu se giblje med 0,38 s in 0,48 s) v zelo omejenem prostoru. Metalec mora optimizirati izmetni kot, izmetno hitrost in izmetno višino, da bi dosegel maksimalno dolžino meta. Tehnika suvanja krogle je sestavljena iz rotacijskih in linearnih gibalnih sekvenc, ki morajo biti med seboj ritmično povezane. V skladu z biomehanskimi zakonitostmi gibanja gre za princip sekvencialne aktivacije segmentov in princip koordinacije posamičnih impulzov (Čoh, Supej, po Lanka, 2000). Mišice se v gibanje vključujejo po principu vzporednosti in po principu zaporednosti. Vzporednost se manifestira v hkratnem vključevanju posameznih mišičnih skupin v gibanje. Za tehniko suvanja krogle je značilno, da se mišice vključujejo v gibanje tako, da se njihovi pripoji najprej oddaljujejo (ekscentrična mišična kontrakcija), nato pa se pripoji približujejo (koncentrična mišična kontrakcija). Učinkovitost ekscentrično-koncentričnega delovanja mišic je odvisna od zaporednega in koordiniranega proksimalno-distalnega zaporedja mišičnih verig (Čoh, Supej, po Stepanek, 1989; Palm, 1990; Robertson et al., 2004). Poleg pravilnega mišičnega zaporedja je za racionalno tehniko pomembna tudi pot delovanja na kroglo. Na trajektorijo gibanja krogle imajo največji vpliv anatomske značilnosti. Dolžino trajektorije definirajo začetni položaj metalca, višina centralnega težišča in višina izmeta. V teoriji in praksi se postavlja permanentno vprašanje, kako posamezna segmentarna gibanja medsebojno povezati, da bi bila hitrost krogle na koncu maksimalna. Suneč krogle je izjemno kompleksen in dinamičen stereotip, ki zahteva optimalno usklajevanje gibanja posameznih segmentov.

Obstajata dve različici moderne tehnike suvanja krogle. Prva je tako imenovana linearna oziroma tehnika s podrsom, katero je izpopolnil Perry O'Brien v začetku petdesetih let, druga

pa je krožna oziroma rotacijska tehnika, ki je dobila pravo veljavo v sredini sedemdesetih. Imeni načinov suvanja nam povesta, po kakšni poti potuje krogla od začetka gibanja in do izmeta. Krogla se pri linearni tehniki giblje v bolj ali manj linearni smeri, brez večjih odstopanj v levo in desno (gledano v smeri sunka). Pri tem opravi določeno pot, ki je determinirana s premerom metalnega kroga, metalčevo velikostjo in sposobnostjo, da začne sunek iz zelo nizkega položaja. Pri rotacijski tehniki pa metalec opravi gibanje enega kroga in pol okoli svoje vzdolžne osi v prostoru metalnega kroga. Tu se podaljša pot (dolžina poti krogle pri rotacijski tehniki je več kot 3 metre) in hkrati poveča možnost daljšega in bolj enakomerno pospešenega delovanja sile metalca na kroglo. Dokazano je, da tekmovalci pridobijo z zaletom, najsi je v rotacijski ali linearni tehniki, le okoli 10–15 % končne dolžine sunka (Bradeško, po Gemer, 1990).

Vsaka od teh tehnik ima svoje prednosti in pomanjkljivosti in je primerna za posameznike glede na njihove antropološke in druge značilnosti. Tekmovalci z obema tehnikama dosegajo vrhunske rezultate, zato ne moremo govoriti o prednosti ene izmed njiju. Sta pa pomembno vplivali na razvoj same discipline oziroma svetovnega rekorda (Slika 1).

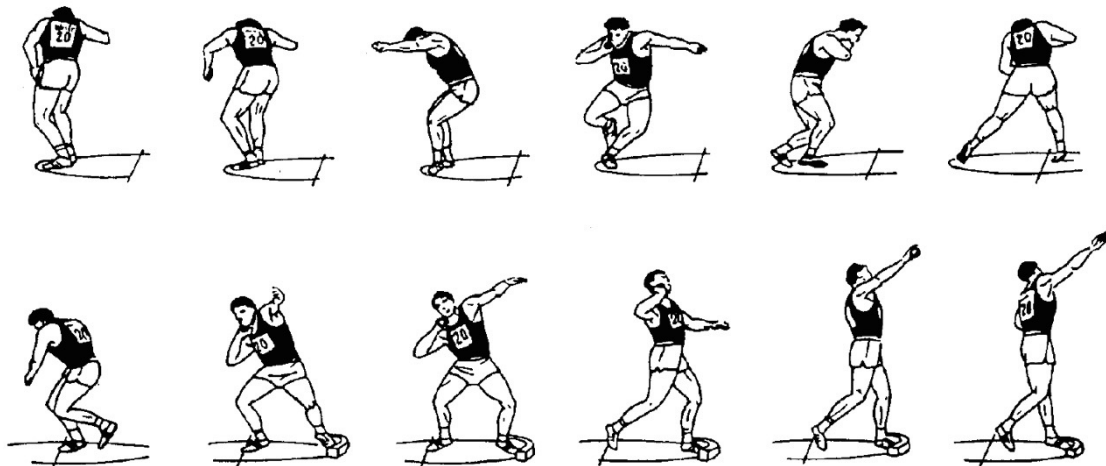


Slika 1: Razvoj svetovnega rekorda v suvanju krogle.

2. PREDMET IN PROBLEM

2.1. Suvanje krogle z rotacijsko tehniko

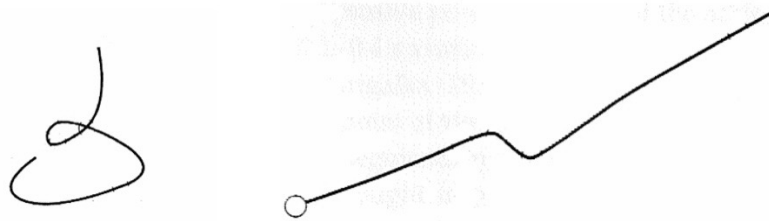
Pri rotacijski tehniki suvanja krogle atlet ne podrsa prek metalnega kroga, ampak se na njem obrne za obrat in pol (540 stopinj okoli vzdolžne osi) tako kot pri metu diska. Prvi zabeleženi poskusi suvanja krogle z rotacijsko tehniko segajo v obdobje 1940–1950. Takrat so kreativni metalci diska in kladiva bolj v šali kot zares poskušali narediti podobno tudi pri suvanju krogle. Njeni začetniki so V. Aleksejov (RUS), F. Tootell, B Ward, J. McGrath in O. Chandler (ZDA), J. Malek (ČSR). Šele v zgodnjih sedemdesetih letih prejšnjega tisočletja se je takšen način suvanja bolj razširil med tekmovalce in postal splošno znan kot rotacijska tehnika suvanja krogle. O. Chandler (ZDA) je leta 1950 sunil kroglo 17,08 m (takrat je bil svetovni rekord 17,95 m) z rotacijsko tehniko. Naslednja leta, še posebej po 1976, so prinesla nekaj velikih imen v rotacijski tehniki suvanja krogle. Leta 1976 je A. Baryshnikov postavil svetovni rekord 22,00 m in osvojil bronasto olimpijsko medaljo s sunkom 21,00 m. Takrat se je rotacijska tehnika razširila med druge tekmovalce. Tekmovalec je bil s hrptom obrnjen v smer sunka. Stal je na koncu metalnega kroga, težo je imel razporejeno enakomerno na obe nogi. Nato je pričel z obratom v levo, prešel v enooporni položaj na levi nogi in z desno nogo naredil zamah proti sredini kroga. Desno nogo je postavil na tla v sprednji polovici kroga in z levo nogo močno zamahnil polkrožno nazaj, dokler se skoraj ni obrnil v smer sunka. Takrat je prišla tudi leva noga na tla. Tekmovalec je moral paziti, da noge pri vrtenju okoli vzdolžne osi prehitevajo trup, ker je lahko samo na tak način ustvaril potrebno torzijo med kolčno in ramensko osjo (Slika 2).



Slika 2: Rotacijska tehnika suvanja krogle, kot jo poznamo danes.

Pri rotacijski tehniki metalec opravi gibanje enega kroga in pol okoli svoje vzdolžne osi v prostoru metalnega kroga (Slika 3). Tu se podaljša pot (dolžina poti krogle pri rotacijski

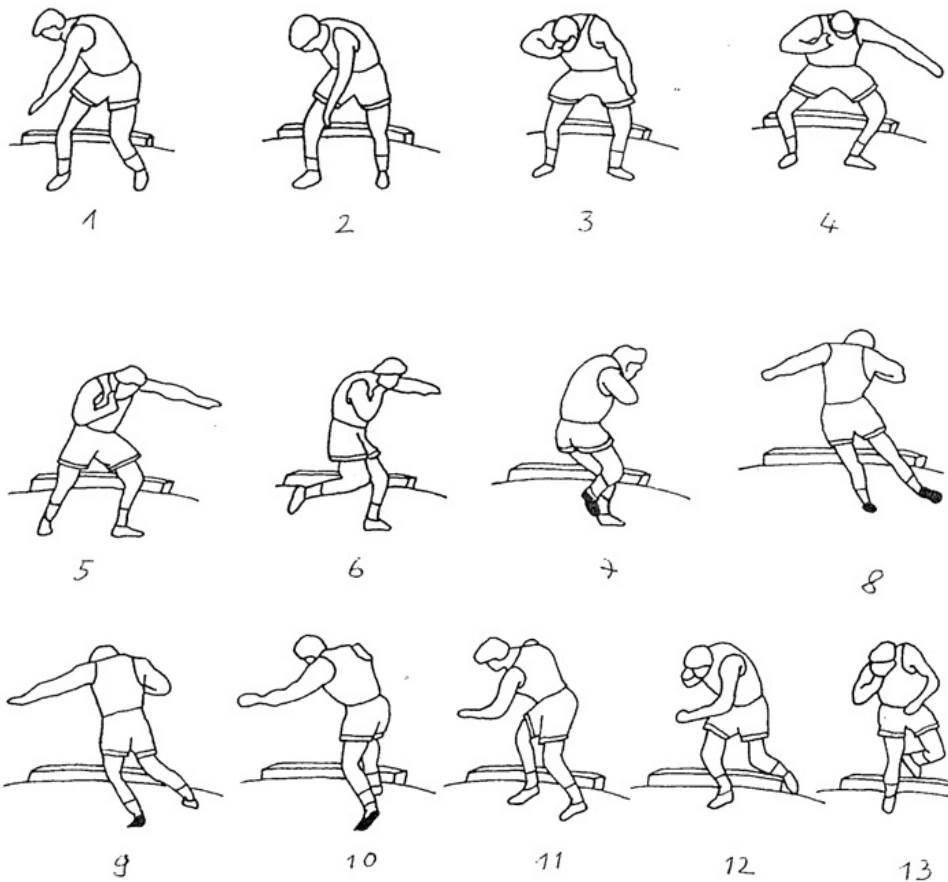
tehniki je več kot 3 metre) in hkrati poveča možnost daljšega in bolj enakomerno pospešenega delovanja sile metalca na kroglo (Bradeško, 2007).

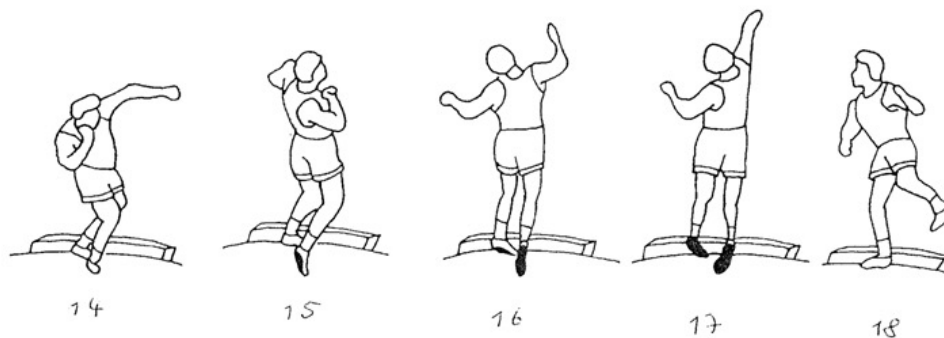


Slika 3: Krivulja, ki jo opiše krogla pri rotacijski tehniki (levo: pogled od zadaj, desno: pogled s strani) (Bradeško, 2007).

Krožno tehniko suvanja krogle delimo na (Čoh, 1992):

- Uvodno fazo (Slika 4, skica 1)
- Fazo obrata in prehitevanja orodja (Slika 4, skice 2 do 14)
- Izmetno fazo ali fazo maksimalnega napora (Slika 4, skice 14 do 17)
- Fazo ohranjanja ravnotežja (Slika 4, skica 18)





Slika 4: Krožna tehnika suvanja krogle po fazah.

Uvodna faza

V tej fazi se metalec maksimalno zbere in pripravi na začetek gibanja. Namen faze je priti v čim bolj optimalni položaj za prehitevanje orodja.

Faza prehitevanja orodja

Namen te faze je, da metalec pride na koncu te faze v položaj, ki mu omogoča maksimalni izkoristek živčno-mišičnega potenciala njegovega telesa. V tem delu telo pripravi na ekscentrično-koncentrično delovanje mišic s hitrejšim vrtenjem spodnjega dela telesa od zgornjega ter optimalno postavitev nog v metalnem krogu.

Faza maksimalnega napreznja

V tej fazi je živčno-mišični sistem najbolj obremenjen. Tu tekmovalec maksimalno izkoristi svojo moč in hitrost. To lahko zagotovi le z zaporednim in koordiniranim vključevanjem proksimalno-distalnega zaporedja mišičnih verig (Stepanek, 1989; Palm, 1990; Robertson et al., 2004; povzeto po Čoh, 2007). Na začetku se vključujejo največje in najmočnejše mišične skupine, na koncu pa najmanjše, ko ima krogla že visoko hitrost. V tej fazi krogla doseže največjo hitrost v celotnem sunku, in sicer ob izmetu.

Faza ohranjanja ravnotežja

V tej fazi tekmovalec stremi k upoštevanju pravila, da ne prestopi. Ker sta potisna sila in vrtilni moment v smeri naprej velika, to lahko naredi le s preskokom in menjavo nog ali z nadaljevanjem obrata.

Za končni rezultat oziroma dolžino meta sta najbolj pomembni fazi prehitevanja orodja in izmetna faza. Drugi dve fazi služita kot priprava na izvedbo meta in ohranjanje ravnotežja

znotraj kroga in s tem veljavnost samega meta po atletskih pravilih. Ker bomo v tej magistrski nalogi natančneje analizirali kinematiko suvanja krogle z rotacijsko tehniko, je potrebno zgoraj našteje faze meta dodatno razčleniti. In sicer bomo tehniko suvanja krogle z rotacijsko tehniko razdelili na naslednje faze:

- **Uvodna faza, ki sestoji iz:**
 - 1. dvooporna faza (Slika 4, skice 1–5)
- **Faza obrata in prehitevanja orodja, ki sestoji iz:**
 - 1. enooporna faza (Slika 4, skice 6–10)
 - 1. brezoporna faza (Slika 4, skici 10 in 11)
 - 2. enooporna faza (Slika 4, skici 12 in 13)
 - začetek 2. dvooporne faze (Slika 4, skica 14)
- **Izmetna faza, ki sestoji iz:**
 - 2. dvooporna faza (Slika 4, skici 15 in 16)
 - 3. enooporna faza (Slika 4, skica 17)
 - 2. brezoporna faza (Slika 4, med skico 17 in 18)
- **Faza ohranjanja ravnotežja, ki sestoji iz:**
 - 4. enooporna faza (Slika 4, skica 18)

2.2. Zakonitosti, ki določajo uspešnost v metih

Uspešnost v metih je v največji meri odvisna od obvladovanja specifičnih gibalnih struktur, ki jih določajo morfološki, motorični, biomehanski, nevrološki, psihološki in drugi dejavniki (Emberšič, 2003). Te gibalne strukture se združujejo v tehniko in pomembno vplivajo na uspešnost v metih. Uspešnost v suvanju krogle definirajo naslednji dejavniki:

1. Tekmovalna pravila,
2. Antropometrično – motorični dejavniki,
3. Biomehanski dejavniki.

2.2.1. Tekmovalna pravila

Tekmovalna pravila za disciplino suvanja krogle so določena s strani Svetovne atletske organizacije (IAAF). Na uspešnost v tej disciplini v največji meri vplivajo tista pravila, ki definirajo pogoje, v katerih se met lahko izvede. Na vseh mednarodnih tekmovanjih se lahko uporablja samo krogla, ki je v skladu s specifikacijami IAAF, in sicer teže 7,260 kg. Dovoljeno je odstopanje od 2,265 kg do 2,285 kg. Najmanjši premer krogle je lahko 110 mm, največji 130 mm. Krogla mora biti narejena iz čvrstega železa, medenine ali podobne kovine, ki pa ne sme biti mehkejša od medenine. Lahko je oblikovana tudi kot kovinski plašč, napolnjen s

svincem ali z drugo čvrsto snovjo. Krogla mora biti popolnoma okrogle oblike in gladke površine, brez kakršne koli hrapavosti. Da je dosežena zahtevana gladkost površine, povprečna globina vdolbin ne sme presegati 1,6 mikrometra oziroma mora ustrezati hrapavosti št. N7 ali manj.

Pri suvanju krogle se orodje meče iz notranjosti kroga, kateri mora biti iz betona, asfalta, ali katerega drugega trdega in nedrsečega materiala. Površina kroga mora biti vodoravna in $20 \text{ mm} \pm 6 \text{ mm}$ nižja od zgornjega roba obroča. Notranji premer kroga mora meriti $2,135 \text{ m} \pm 0,005 \text{ m}$. Obroč kroga mora imeti debelino vsaj 6 mm in mora biti bele barve. Natančna določila so tudi za sektor metališča, ki mora biti označen s 50 mm širokima belima črtama, ki tvorita kot $34,92^\circ$, in katerih notranja robova črt se, če jih teoretično podaljšamo, sekata v središču kroga. Površina sektorja metališča mora biti iz mešanice ugaskov ali trave ali primerne snovi, na kateri orodje pusti vtis. Največji skupni padec sektorja metališča v smeri metanja ne sme presegati 1:1000 (0,1%).

Atlet mora vsak poskus začeti iz mirujočega položaja znotraj kroga. Atlet se lahko dotakne notranje strani obroča, kot tudi notranje strani zaustavitvenega (krožnega) praga. Le ta je bele barve in je narejen iz lesa ali ustreznega materiala v obliki loka tako, da je notranja površina poravnana z notranjim robom obroča in je pravokoten na površino kroga. Postavljen je tako, da njegovo središče sovpada s sredinsko črto sektorja in izdelan tako, da ga je mogoče trdno pričvrstiti v tla. Zaustavitveni prag je širok od 0,112 m do 0,30 m. Dolg je $1,21 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ in ima enak polmer kot obroč kroga metališča. Visok je $0,10 \text{ m} \pm 0,008 \text{ m}$ glede na nivo notranje površine kroga, merjeno ob zaustavitvenem pragu.

Kroglo se suva z rame samo z eno roko. Ko se atlet postavi v začetni položaj v krogu, mora biti krogla v stiku ali v bližini vratu ali brade. Med metom se roka ne sme spustiti nižje od začetnega položaja. Krogla ne sme preiti za linijo ramen. Med poskusom se ne sme uporabljati nikakršnih pomoči pri izvedbi meta, kot so razni pripomočki, dodatne uteži ipd.

2.2.2. Antropometrično – motorični dejavniki

Poleg biomehanskih zakonitosti na uspešnost v suvanju krogle vplivajo tudi antropometrično – motorične sposobnosti metalca krogle. Telesna višina je seveda eden ključnih antropometričnih dejavnikov, na katere s treningom in ostalimi sredstvi ne moremo vplivati, saj je prirojena. Večina najboljših metalcev krogle ima telesno višino nad 1,90 m (Ohyama Byun s sod., 2008, Schaa, 2009). Telesna teža med najboljšimi metalci krogle bolj varira in se giblje med 110 kg in 140 kg (Ohyama Byun s sod., 2008, Schaa, 2009). Veliko večji vpliv s treningom pa imamo na motorične lastnosti. Kvaliteten trening je ključ do razvoja zadostnih sposobnosti za doseganje maksimalnih daljav. Ker gre tu za preplet mnogih motoričnih sposobnosti, je težko natančno definirati nivo tistih, ki na uspešnost v suvanju krogle vplivajo

v največji meri. Vseeno so nekateri avtorji definirali okvirne vrednosti. Tschiene (1988) priporoča sledeče vrednosti za vrhunske metalce krogle, ki želijo metati 21–22 metrov (Tabela 1).

METI	
krogla 7,26 kg	21–22 m
krogla 8 kg	21,30 m
krogla 6 kg	23,20 m
SKOKI	
skok v daljino z mesta	3,0–3,4 m
trokok z mesta	9,5–10 m
dosežni skok	95–100 cm
ŠPRINTI	
30 m leteči štart	3,1–3,2 s
UTEŽI	
Potisk s prsi	240–250 kg
Počep	270–280 kg

Tabela 1: Priporočene vrednosti nekaterih motoričnih testov za vrhunske metalce krogle (Tschiene 1988).

Judge (2014) je v svojem raziskovalnem delu ugotavljal vpliv nekaterih motoričnih testov absolutne telesne moči na doseganje maksimalne daljave v suvanju krogle. Ugotovil je značilno povezanost potiska s prsi, počepa ter naloga s končno daljavo v suvanju krogle. Prav tako je ugotovil, da je razmerje med potiskom s prsi in osebnim rekordom značilno višje pri metalcih, ki uporabljajo linearno tehniko suvanja, kot pri metalcih z rotacijsko tehniko. Pri slednjih pa je pokazal višjo povezanost naloga s končno daljavo kot pri metalcih z linearno tehniko.

2.2.3. Biomehanski dejavniki

Med biomehanske zakonitosti, ki v največji meri določajo uspešnost v metalskih disciplinah, prištevamo:

1. Načelo vzporednega in zaporednega vključevanja posameznih mišic v gibanje. Ta je pri metih najpomembnejše v času aktivnega delovanja na orodje. Posamezne mišične skupine se vključujejo v gibanje po načelu vzporednosti in zaporednosti. Vzporednost se kaže v hkratnem vključevanju posameznih mišičnih skupin v gibanje, medtem ko se pri zaporednem posamezne mišične skupine vključujejo po proksimalno-distalnem zaporedju. To pomeni, da se pri izvedbi meta v gibanje najprej vključujejo noge, nato trup in na koncu roka.

2. Učinkovitost posameznih mišičnih skupin, ki se vključujejo v gibanje. Za vse mete je značilno, da se v fazi aktivnega delovanja na orodje mišice vključujejo v gibanje najprej tako, da se skrajni pripoji posamezne mišice najprej oddaljujejo – ekscentrično gibanje, da bi se takoj za tem lahko ponovno približali – koncentrično gibanje. Uspešnost ekscentrično-koncentričnega delovanja posameznih mišic je odvisna od zaporednega vključevanja posameznih mišic v gibanje (proksimalno-distalno zaporedje) ter od učinkovitosti mišice, ki pa je odvisna od medsebojnega delovanja večih dejavnikov, ki takšno gibanje omogočijo, in sicer so to kost, kostni sklep (kite in ligamenti), senzorni receptorji, mišica in motorična enota.
3. Znotraj mišična koordinacija. Pri znotraj mišični koordinaciji govorimo o rekrutaciji motoričnih enot, frekvenčni modulaciji in sinhronizaciji. Vsi trije pojmi se nanašajo na mehanizem aktivacije mišice preko motoričnih enot. Pri izvedbi giba se bodo motorične enote aktivirale po zaporedju, kar imenujemo rekrutacija motoričnih enot. Rekrutacija poteka po principu velikosti, kar pomeni, da se bodo najprej vključile manjše motorične enote, z naraščanjem sile pa postopno večje. Pri metih se zaradi velikega prirastka sile v kratkem času morajo v gib vključiti velike motorične enote, hkrati pa se mora povečati tudi frekvenca proženja akcijskih potencialov (frekvenčna modulacija). Za razvoj velike sile v čim krajšem času je pomembna tudi sinhronizacija motoričnih enot, torej časovno ujemanje aktivacije motoričnih enot posamezne mišice.
4. Dolžino aktivnega delovanja na orodje. Ta je v največji meri odvisna od morfoloških značilnosti metalca (telesne višine in razpona rok), gibljivosti in posameznikove tehnike. Učinkovitost takšnega delovanja je v največji meri odvisna od prvih dveh naštetih dejavnikov. Slednja se morata realizirati na določeni poti, ki jo opravi metalčeva roka. Pot aktivnega delovanja na orodje se lahko nekoliko podaljša na račun nižjega začetnega položaja metalca in zaprte osi ramenskega sklepa. Višina krogle pred začetkom aktivnega delovanja na orodje znaša pri nekaterih vrhunskih metalcih med 90 in 110 cm. Višina izmeta pa je anatomsko pogojena in dosega pri metalcih, visokih 192–197 cm, od 220 do 230 cm.
5. Prispevek hitrosti, ki je posledica podrsa, obrata ali zaleta. Hitrosti posameznih segmentov telesa se v posameznih fazah meta orodja spreminjajo. Medtem ko splošno velja, da je hitrost težišča telesa in orodja v prvem delu zaleta enaka, pride v fazi pred aktivnim delovanjem na orodje do manjšega zaostajanja zgornjega dela telesa, ker noge prehitvajo orodje. Sledi faza aktivnega delovanja na orodje, kjer se hitrosti posameznih segmentov v ustreznem zaporedju povečujejo s ciljem doseči najvišjo hitrost v trenutku izmeta. Pri suvanju krogle lahko izmetne hitrosti pri vrhunskih metalcih presegajo 14 m/s. Te maksimalne izmetne hitrosti lahko dosežemo na več načinov, in sicer s podrsom, zaletom ali obratom. Spremembe hitrosti pri suvanju krogle se v povprečju gibljejo takole: v začetni poziciji do začetka

podrsa – od 2,0 do 2,2 m/s, pri podrsu – od -0,2 do 0,4 m/s, in pri končnem sunku – od 10 do 12,5 m/s (Schmolinsky, 2000).

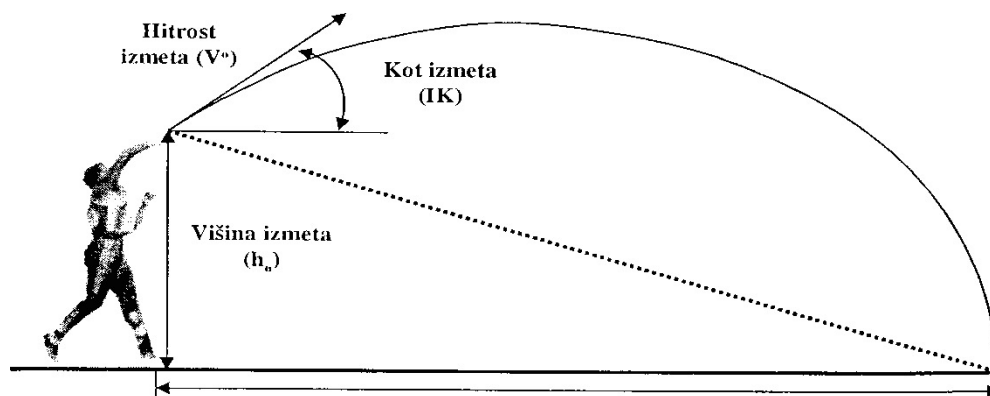
6. Biomehanske zakonitosti meta, kjer gre predvsem optimalizacijo parametrov izmeta oziroma naslednjih fizikalnih dejavnikov (Schmolinsky, 2000):

- Izmetna hitrost orodja,
- Kot izmeta,
- Višina izmeta,
- Upor zraka in ostali vplivi okolja,
- Zemeljska težnost.

Dolžino leta orodja je v praksi zelo težko izračunati, ker ne poznamo posameznih parametrov. Če pa poznamo izmetno hitrost, kot in višino izmeta, lahko izračunamo dolžino leta po predstavljeni formuli (Emberšič-Kuhl, 1993):

$$L = \frac{v_o^2}{g} * \cos\alpha_o (\sin\alpha_o + \sqrt{\sin^2\alpha_o + \frac{2gh_o}{v_o^2}})$$

Ta formula je primerna za izračun dolžine leta krogle, saj lahko zaradi značilnosti samega orodja in discipline zanemarimo upor zraka in upoštevamo parameter gravitacije 9,81 m/s, ki je stalen. Formula nam daje tudi možnost pogleda soodvisnosti vseh 3 pomembnih dejavnikov, ki vplivajo na dolžino leta in so neposredno povezani s samim atletom (Slika 5).



Slika 5: Najpomembnejši mehanski parametri, ki vplivajo na dolžino meta (Schmolinsky, 2000).

V spodnjih tabelah lahko vidimo odvisnost dolžine leta krogle od prej naštetih dejavnikov.

Izmetni kot (stopinje)	Izmetna hitrost krogle (m/s)			
	11	12	13	14
37	14,37	16,68	19,18	21,86
38	14,40	16,74	19,26	21,94
39	14,43	16,78	19,32	22,03

40	14,44	16,80	19,35	22,08
41	14,44	16,81	19,37	22,12
42	14,43	16,80	19,38	22,15
43	14,40	16,78	19,36	22,13
44	14,36	16,74	19,32	22,10
45	14,31	16,69	19,27	22,05
46	14,24	16,62	19,19	21,97
47	14,16	16,53	19,10	21,88

Tabela 2: Odvisnost dolžine leta kroglice od izmetne hitrosti in izmetnega kota (izmetna višina kroglice je 2,3 m) (Račič, 1994).

Izmetna hitrost kroglice (m/s)	$h_o = 2,1$ m		$h_o = 2,3$ m	
	L (m)	α_o	L (m)	α_o
10	12,10	40° 4'	12,27	39° 42'
11	14,27	40° 48'	14,44	40° 28'
12	16,64	41° 24'	16,81	41° 6'
13	19,20	41° 53'	19,38	41° 37'
14	21,97	42° 16'	22,16	42° 2'

Tabela 3: Maksimalne dolžine leta kroglice (L) in najoptimalnejši izmetni koti (α_o) pri metih z različnimi izmetnimi hitrostmi kroglice in z različnimi izmetnimi višinami (h_o) (Račič, 1994).

IZMETNA HITROST ORODJA

Pri vseh metalskih disciplinah je izmetna hitrost najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na dolžino leta (meta). Po prej predstavljeni enačbi se razdalja proporcionalno povečuje s povečevanjem izmetne hitrosti (vsote kvadrata izmetne hitrosti). To lahko vidimo tudi v spodnji tabeli, ki prikazuje, da lahko metalec kroglice pridobi povprečno 2,14 metra, če poveča izmetno hitrost za 1 m/s.

v_o (m/s)	$h_o = 2,0$ m				$\alpha_o = 45^\circ$			
	7	8	9	10	11	12	13	14
L (m)	6,99	8,52	10,26	12,19	14,33	16,68	19,23	21,98

Tabela 4: Sprememba rezultata ob enakomernem povečevanju izmetne hitrosti (Scmolinsky, 2000).

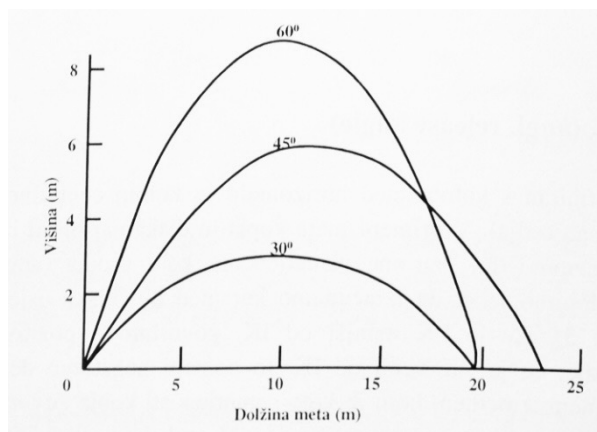
IZMETNI KOT

Manj pomemben je kot izmeta orodja. Če predpostavimo izmetno hitrost in višino izmeta, potem vidimo, da izmetni kot nima zelo bistvenega vpliva na dolžino leta, seveda v obsegu 40–45 stopinj, ki nas predvsem zanima pri metalskih disciplinah. Pri večjih odstopanjih od

optimalnega kota bi po pričakovanjih prišlo do večjih in pomembnejših razlik. Teorija poševnega meta pravi, da je najoptimalnejši kot 45 stopinj, če sta izmet in pristank na isti višini. Pri metalških disciplinah pa izmetna višina ni nikoli enaka višini pristanka orodja, zato je optimalni kot nižji od 45 stopinj in je tako odvisen od višine metalca oziroma izmetne višine h_0 (Tabela 3) in izmetne hitrosti v_0 (Tabela 4). Če to ponazorimo še z matematično enačbo:

$$\cos 2\alpha_{\text{opt}} = \frac{gh_0}{v_0^2 + gh_0}$$

Če predpostavimo konstantno izmetno višino, se optimalni izmetni kot povečuje s povečevanjem izmetne hitrosti (Tabela 2). Pri metu krogle je v povprečju optimalni izmetni kot okrog 41–42 stopinj, medtem ko je pri ostalih metalških disciplinah, kot na primer met kladiva, lahko večji, do 44 stopinj, ali pa manjši, pri metu diska in kopja med 30 in 37 stopinj (Shmolinsky, 2000).



Slika 6: Učinek izmetnega kota pri hitrosti izmeta krogle 15 m/s in višini izmeta 0 m (Emberšič, po Barlett, 1997).

Splošno je poznano, da je kroglo najtežje pospeševati vertikalno navzgor in najlažje vertikalno navzdol. V prvem primeru sila zemljinega pospeška otežuje pospeševanje orodja, a v drugem primeru pomaga. Iz tega sledi, da čim večje je pospeševanje v vertikalni smeri (pri sili enake velikosti), tem večji je upor zemeljske gravitacije. To pomeni, da ni vedno učinkovito, če pospešujemo v vertikalni smeri čim bližje optimalnemu kotu 45 stopinj. V Tabeli 2 lahko vidimo, da pri izmetni hitrosti 14 m/s in kotu 37 stopinj krogla doseže dolžino 21,86 m, pri kotu 47 stopinj pa 21,88 m. Razlika v izmetnem kotu v obeh primerih je kar velika, a rezultat praktično isti. To pomeni, da je v navedenem primeru metalec potreboval manj vertikalnega pospeška in vertikalne sile za isti rezultat. Lahko pa zaradi tega dejstva razvije večji horizontalni pospešek in hitrost.

Seveda obstajajo primeri, ko metalci zaradi svojih morfoloških značilnosti ne morejo doseči optimalnih izmetnih kotov. Predstavniki rotacijske tehnike suvanja krogle imajo zaradi same rotacije težave pri doseganju optimalnega kota izmeta, ki je v primerjavi s podrsno tehniko do 10 stopinj nižji.

IZMETNA VIŠINA

Višina izmeta ima na samo dolžino leta orodja najmanjši vpliv, predvsem zato, ker je pogojena z anatomsko zgradbo metalca, na katero se ne da vplivati. Vseeno pa tega faktorja ne smemo spregledati, saj, predvsem na najvišjem nivoju tekmovanj, lahko le nekaj centimetrov razlike v dolžini meta pomeni zmago ali poraz. Visoki atleti so tukaj v prednosti. V Tabeli 5 lahko vidimo, koliko višina izmeta pripomore k dolžini leta.

$\alpha_o = 41^\circ; \quad v_o = 13 \text{ m/s}$					
h_o (m)	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
L (m)	18,93	19,11	19,29	19,48	19,66

Tabela 5: Odvisnost dolžine leta krogle od izmetne višine pri dani izmetni hitrosti v_o in izmetnem kotu α_o (Schmolinsky, 2000).

Jasno je, da se vpliv izmetne višine na dolžino leta orodja zmanjšuje s povečevanjem izmetne hitrosti orodja. Medtem ko pri suvanju krogle 0,2 m večja izmetna višina poveča dolžino leta krogle za 1 %, pri metu kladiva takšna večja izmetna višina pripomore k le 0,3 % večji dolžini (Schmolinsky, 2000).

Vsako odstopanje od optimalne višine vpliva na skrajšanje parabole oziroma na spremembo drugih dveh izmetnih parametrov (izmetne hitrosti in izmetnega kota) ter posledično na krajšo razdaljo (Emberšič, 2003). Višja izmetna točka lahko na račun višje parabole podaljša dolžino leta. V praksi je to izvedljivo predvsem pri suvanju krogle in diska, medtem ko je v primeru meta kopja doseganje optimalne višine izmeta neizvedljivo. Višja točka izmeta je namreč povezana s kotom postavitve sprednje noge na tla. Večji kot postavitve noge na tla pa je lahko vzrok za manjše zaviralno delovanje sprednje noge in posledično za manjši prenos sile na zgornji del telesa.

2.3. Dosedanje raziskave

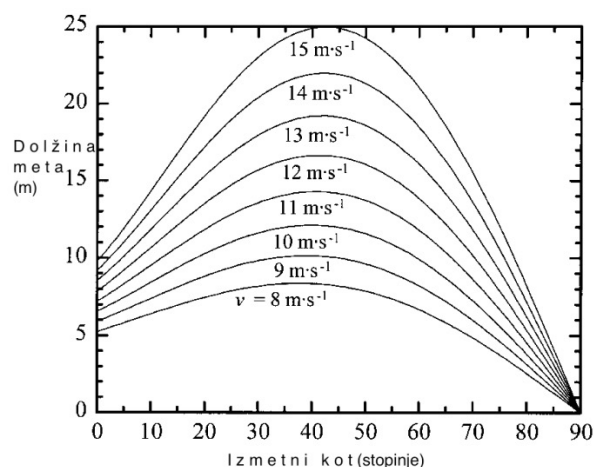
V dosedanjih študijah in raziskavah je bil kinematični model suvanja krogle večkrat analiziran. Večji del raziskav se je osredotočal na najpomembnejše biomehanske dejavnike, ki vplivajo na končni rezultat. Med pogostejše zasledimo trajektorije različnih točk telesa (centralno težišče, komolec izmetne roke, koleno potisne in oporne noge, ramenski sklep, dlan izmetne

roke ipd.), kotne hitrosti omenjenih delov telesa, izmetne hitrosti, izmetne višine, izmetne kote itn. Manjše število študij je raziskovalo vpliv motoričnih sposobnosti na končni rezultat v suvanju krogle, čeprav le-te nezanemarljivo vplivajo na dolžino samega meta (Tschiene, 1988, Judge, 2012). Vendar je razvoj le-teh povezan s starostjo in trenažnim stažem atleta, zato najobjektivnejše raziskave o ključnih dejavnikih rotacijske tehnike suvanja krogle vsekakor nudijo analize metov vrhunskih metalcev. Pri takšnem vzorcu je nivo motoričnih sposobnosti relativno podoben, kar pomeni dobro homogenost vzorca. Sodobne diagnostične tehnologije in metode omogočajo neinvazivno in natančno analizo kinematičnih parametrov tudi na pomembnejših tekmovanjih, s čimer se pridobijo podatki najboljših atletov v maksimalnih izvedbah metov.

V dosedanjih študijah suvanja krogle lahko zasledimo več raziskav kinematičnih parametrov na vrhunskih metalcih krogle oziroma na največjih tekmovanjih. Sušanka in Stepanek (1986) sta opravila biomehansko analizo metalcev krogle na prvem svetovnem mladinskem prvenstvu leta 1986 v Atenah. Pri takratnem svetovnem prvaku sta izmerila končno izmetno hitrost 12,72 m/s, dolžino poti krogle v drugi dvooporni fazi 1,80 m, kot izmeta 42 stopinj in višino izmeta krogle 2,18 m. Dolžina analiziranega meta je bila 18,44 m.

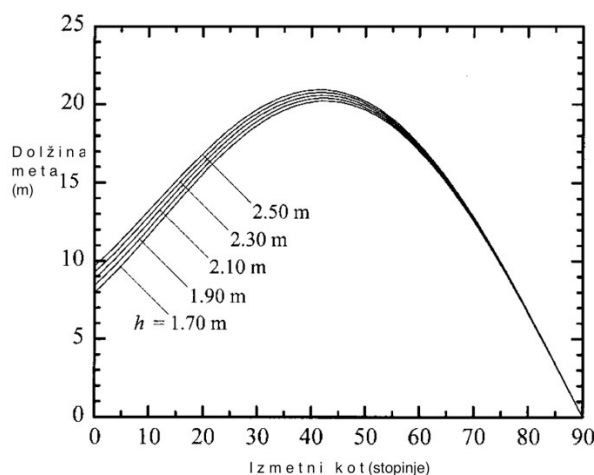
Hubbard (2001) je analiziral odvisnost dejavnikov izmeta (izmetno višino, izmetni kot, izmetno hitrost in horizontalno izmetno dolžino od konca kroga do izmetne roke) na dveh vrhunskih metalcih krogle. Z multivariatno regresijsko analizo je pokazal, da se izmetna hitrost zmanjša pri povečanju izmetnega kota okrog 1,7 (m/s)/rad in zmanjša pri povečanju izmetne višine okrog 0,8 (m/s)/m. Pokazal je tudi, da se horizontalna izmetna dolžina zmanjša pri povečanju izmetnega kota okrog 1,7 m/rad, ter poveča pri povečanju izmetne višine okrog 1,3 m/m.

Z raziskovanjem optimalnega izmetnega kota se je poglobljeno ukvarjal Linthorne (2001). Na raziskavi petih metalcev krogle je izračunal optimalni izmetni kot ob konstantni izmetni višini za različne vrednosti izmetnega kota pri različnih izmetnih hitrosti (Slika 7).



Slika 7: Vpliv izmetne hitrosti in izmetnega kota na dolžino meta ob konstantni izmetni višini 2,10 m (Linthorne, 2001).

Avtor je prav tako pokazal, da ima vsak metalec krogle svoj izmetni kot, pri katerem lahko razvije največjo možno izmetno hitrost (Slika 8). Ker je ta seveda odvisna tudi od antropometričnih dejavnikov in motoričnih sposobnosti, bi bilo potrebno za vsakega metalca posebej izračunati njegov optimalni model dejavnikov izmeta. Kljub temu lahko vidimo okvirne izmetne hitrosti za dolžine nad 19 in 20 m, ki se gibljejo med 13 in 14 m/s.



Slika 8: Vpliv izmetne višine in izmetnega kota na dolžino meta ob konstantni izmetni hitrosti 13,50 m/s (Linthorne, 2001).

Izjemno eliten vzorec merjencev je raziskoval Ariel s sod. (2004), kjer je analiziral finale v suvanju krogle na olimpijskih igrah v Atenah leta 2004. Pri nosilcih medalj je izračunal osnovne kinematične parametre s pomočjo programskega paketa APAS na osnovi video zapisa (Tabela 6). Podatki so pokazali, da je bila povprečna višina izmeta 2,39 m, povprečni izmetni kot 36 stopinj in povprečna izmetna hitrost 13,8 m/s za mete dolžine 21 m.

Tekmovalec	Dolžina meta (m)	Tehnika	Višina izmeta (m)	Izmetna hitrost (m/s)	Izmetni kot (stopinje)
Yuriy Belonog	21,16	Linearna	2,55	13,85	33
Adam Nelson	21,16	Rotacijska	2,33	13,95	33
Joachim Olsen	21,07	Rotacijska	2,31	13,60	41

Tabela 6: Kinematični parametri izmeta dobitnikov medalj na olimpijskih igrah v Atenah leta 2004 v suvanju krogle (Ariel s sod., 2004).

Čoh, Štuhec in Štimec (2005) so pri analizi meta slovenskega rekorderja M. V. dolžine 19,58 m izračunali izmetno hitrost 12,94 m/s, izmetni kot 36 stopinj ter izmetno višino 2,27 m. Nekater druge študije na istem tekmovalcu pri metih nad 20 m navajajo podobne rezultate kot Ariel idr. (2004), torej izmetno hitrost nad 13,7 m/s, izmetni kot 36 stopinj in izmetno višino 2,28 m (Štuhec in Vertič, 2008; Čoh in Supej, 2007).

Čoh, Štuhec in Supej (2008) so opravili primerjalno analizo rotacijske tehnike suvanja krogle med dvema konstitucijsko zelo različnima vrhunskima metalcema krogle. V svoji študiji so navedli izmetni hitrosti 13,95 m/s in 12,60 m/s za meta dolžine 20,30 m in 19,06 m. Izmetna kota za navedena rezultata sta bila 34,9 stopinj in 34,6 stopinj, izmetni višini pa 2,25 m in 2,02 m. Raziskovalci so ugotovili nekaj pomembnih razlik v tehnični izvedbi meta med obema atletoma, katere pripisujejo antropometrijskim razlikam. Večji in težji atlet je razvil nižjo torzijsko rotacijo v izmetni fazi, imel pa je tudi časovno daljšo fazo pospeševanja krogle v izmetni fazi. Slednje je omenjeni atlet izkoristil za večji prenos kinetične energije na kroglo, in s tem posledično na večjo izmetno hitrost krogle.

Supej in Čoh (2008) sta v svoji raziskavi podala nov pristop pri obravnavi kinematike suvanja krogle. In sicer večina primerjalnih analiz uporablja časovno zaporedje podatkov oziroma prikaz podatkov v odvisnosti od časa. Ker je na tak način neposredna primerjava dveh ali več tekmovalcev v časovni odvisnosti omejena na kratko območje zaradi razlik v tehniki in izvedbi, sta v pomoč predlagala uporabo uskladitve podatkov glede na smerni kot ramenske osi. Pokazala sta monotonost naraščanja smernege kota ramenske osi pri rotacijski tehniki, kar je osnova za uporabnost pri kinematičnih analizah.

Ohyama Byun s sod. (2008) je opravil raziskave na finalistih svetovnega prvenstva v Osaki leta 2007 (Tabela 7). Izračunani kinematični parametri izmetne faze so bili podobni kot v prejšnjih raziskavah, in sicer izmetne hitrosti med 12,83 in 14,07 m/s, izmetni koti med 30,77 in 37,66 stopinjami ter višina izmeta med 2,10 in 2,58 m. S končnim rezultatom je statistično značilno korelirala izmetna hitrost ($r=0,87$, $p<0,01$), kar je seveda pričakovano in večkrat potrjeno. So pa raziskovalci nakazali glavni problem mnogih tovrstnih raziskav, in sicer da sta tako faza izmeta kot kinematični parameter izmetna hitrost le posledica predhodnih faz gibanja.

Tekmovalec	Dolžina meta (m)	Tehnika	Izmetna hitrost (m/s)	Izmetni kot (stopinje)	Izmetna višina (m)
R. Hoffa	22,04	Rotacijska	14,07	32,35	2,34
A. Nelson	21,61	Rotacijska	14,06	30,77	2,38
A. Mikhnevich	21,27	Linearna	13,44	37,48	2,56
R. Smith	21,13	Rotacijska	13,34	37,66	2,35
T. Majewski	20,87	Linearna	12,99	37,55	2,58
M. Vodovnik	20,67	Rotacijska	13,42	33,63	2,26
R. Bartels	20,45	Linearna	13,31	35,10	2,11
Y. Bialou	20,34	Rotacijska	13,24	36,70	2,22
D. Armstrong	20,23	Rotacijska	13,18	34,29	2,10
P. Sofin	19,62	Linearna	12,83	35,31	2,39

Tabela 7: Kinematični parametri izmeta finalistov svetovnega prvenstva v Osaki leta 2007 v suvanju krogle (Ohyama Byun s sod., 2008).

Tako je potrebno omeniti raziskave Harasina s sod. (2008), saj ni analiziral le glavne kinematične parametre izmeta, ampak je ugotavljal vpliv nekaterih parametrov v ostalih fazah meta. V raziskavi (Harasin s sod., 2008), kjer je spremljal največjo hitrost krogle v fazi obrata, je iskal razlike med boljšimi in slabšimi metalci krogle z rotacijsko tehniko. Metalci boljše skupine so imeli rezultat preko 19 m, metalci slabše skupine pa med 16 in 17 m. Ugotovil je, da imajo boljši metalci manjšo hitrost v fazi obrata (2,4 m/s) kot slabši metalci (3,3 m/s). V drugi raziskavi na istem vzorcu metalcev (Harasin s sod., 2008) je analiziral kotne premike spodnjih okončin v fazi izmeta (desno in levo koleno ter desni in levi kolk). V študiji ni pokazal statistično značilnih razlik v tem kinematičnem parametru med boljšimi in slabšimi metalci krogle z rotacijsko tehniko. V še eni raziskavi na istem vzorcu (Harasin s sod., 2010) pa je ugotavljal kinematiko zamašne roke v drugi dvooporni fazi. Ugotovitve so pokazale, da boljši metalci nimajo statistično značilne višje kotne hitrosti v ramenu zamašne roke v primerjavi s slabšimi metalci krogle z rotacijsko tehniko. Nakazujejo pa, da mora biti zamah z zamašno roko opravljen z amplitudo in časovno usklajenostjo tako, da v kar največji meri dovoli predhodno raztezanje telesnih segmentov, ki so vključeni v fazi potiskanja. Prav tako pa zamah z zamašno roko ne sme biti opravljen v amplitudi, ki bi preprečila povečevanje radiusa gibanja krogle.

Gutierrez-Davila s sod. (2009) je na dvoranskem svetovnem prvenstvu v Valenciji leta 2008 naredili deskriptivno analizo tehnike metanja finalistov. Ob povprečni dolžini meta 20,75 m, je bila povprečna vrednost izmetne hitrosti 13,64 m/s, povprečna višina izmeta 2,17 m in povprečen izmetni kot 37 stopinj. Pri ugotavljanju značilnosti tehnike posameznega atleta so ugotovili, da vsak uporablja svojo sekvenco gibov (čas trajanja faz meta) in ritem. Vendar je bilo opaziti določene specifikke v hitrosti krogle v fazi obrata in izmeta, ki nakazujejo na ritmičnost izvedbe meta. Podobno kot Harasin s sod. je ugotovil manjše hitrosti krogle v fazi obrata ter večje v fazi izmeta pri boljših metalcih. Pri korelacijski analizi je bil pričakovano parameter z največjo povezanostjo s končno dolžino meta končna izmetna hitrost ($p < 0,001$). Značilno korelacijo s končnim rezultatom so ugotovili tudi za izmetno višino ter višino tekmovalca ($p < 0,001$). Niso pa pokazali značilne povezanosti končne izmetne hitrosti z izmetno višino kot nekateri avtorji pred njimi (Hubbard, 2001). Pri analizi izmetnega kota so potrdili izsledke dosedanjih raziskav, da z naraščanjem končne izmetne hitrosti izmetni kot pada ($p < 0,01$).

Nekatere novejšje raziskave na vrhunskih metalcih krogle z rotacijsko tehniko so potrdile že obstoječe informacije o ključnih kinematičnih parametrih izmeta. Schaa (2010) je analiziral finaliste meta krogle na svetovnem prvenstvu v Berlinu leta 2009 (Tabela 9). Povprečna dolžina meta je bila 21,24 m, povprečna izmetna hitrost 13,8 m/s, povprečni izmetni kot 36 stopinj, povprečna izmetna višina 2,23 m. Iz zgornjih podatkov lahko vidimo, da je bil nivo tekmovanja na izjemno visokem nivoju, kar se odraža tudi v izmerjenih kinematičnih parametrih. Oh in sodelavci (2011) pa so analizirali finaliste naslednjega svetovnega

prvenstva, ki je bilo v Daeguju leta 2011 (Tabela 10). Povprečna izmetna hitrost je bila 13,25 m/s, povprečni izmetni kot 35 stopinj, povprečna izmetna višina pa 2,06 m. Povprečna dolžina meta pa je bila 21,13 m. Vidimo podobne rezultate kot pri prej omenjeni raziskavi, le da je ob rahlo krajšem povprečnem rezultatu razlika v izmetni hitrosti in izmetni višini kar opazna. Naj še omenimo raziskavo Aleksić-Veljković in sod. (2011), ki so analizirali najboljše metalce krogle v Srbiji (Tabela 11). Pri dolžinah med 17,71 m in 20,50 m so bile izmerjene naslednje vrednosti: izmetna hitrost med 11,68 m/s in 13,79 m/s, izmetni kot med 40,4 in 42,8 stopinjami ter izmetno višino 2,05 in 2,22 m.

Tekmovalec	Dolžina meta (m)	Tehnika	Izmetna hitrost (m/s)	Izmetni kot (stopinje)	Izmetna višina (m)
C. Cantwell	21,77	Rotacijska	14,13	35	2,10
R. Hoffa	21,20	Rotacijska	13,99	34	2,08
T. Majewski	20,93	Linearna	13,63	37	2,29
A. Mikhnevich	20,82	Linearna	13,58	39	2,25
R. Smith	20,78	Rotacijska	13,61	37	2,21
R. Scout	20,29	Rotacijska	13,39	41	2,15
S. Martin	20,13	Rotacijska	13,38	39	2,12
C. Sack	20,05	Rotacijska	13,38	37	2,16

Tabela 8: Kinematični parametri izmeta finalistov svetovnega dvoranskega prvenstva v Valenciji leta 2008 v suvanju krogle (Gutierrez-Davila s sod., 2009).

Tekmovalec	Dolžina meta (m)	Tehnika	Izmetna hitrost (m/s)	Izmetni kot (stopinje)	Izmetna višina (m)
C. Cantwell	22,03	Rotacijska	14,0	37,8	2,29
T. Majewski	21,91	Linearna	13,8	39,3	2,43
R. Bartels	21,37	Linearna	14,0	33,6	2,12
R. Hoffa	21,28	Rotacijska	14,0	34,4	2,06
A. Nelson	21,11	Rotacijska	14,1	32,9	2,05
Y. Lyzhin	20,98	Rotacijska	13,6	39,2	2,22
A. Mikhnevich	20,74	Linearna	13,4	37,7	2,43
M. Vodovnik	20,50	Rotacijska	13,7	33,1	2,25

Tabela 9: Kinematični parametri izmeta finalistov svetovnega prvenstva v Berlinu leta 2009 v suvanju krogle (Schaa, 2010).

Tekmovalec	Dolžina meta (m)	Tehnika	Izmetna hitrost (m/s)	Izmetni kot (stopinje)	Izmetna višina (m)
D. Storl	21,78	Linearna	13,96	37,20	2,27
D. Armstrong	21,64	Rotacijska	13,03	37,47	2,11
A. Mikhnevich	21,40	Linearna	13,37	35,70	2,20
C. Cantwell	21,36	Rotacijska	12,94	35,96	2,06
R. Hoffa	20,99	Rotacijska	13,51	31,16	2,02
M. Fortes	20,83	Rotacijska	13,26	31,87	2,09

R. Whiting	20,75	Rotacijska	12,75	37,31	1,91
A. Nelson	20,29	Rotacijska	13,14	34,68	2,10

Tabela 10: Kinematični parametri izmeta finalistov svetovnega prvenstva v Daeguju leta 2011 v suvanju krogle (Oh s sod., 2011).

Tekmovalec	Dolžina meta (m)	Tehnika	Višina izmeta (m)	Izmetna hitrost (m/s)	Izmetni kot (stopinje)
A. Kolašinac	20,50	Rotacijska	2,07	13,79	40,4
M. Markovič	18,29	Linearna	2,22	11,90	42,8
Ž. Milovanovič	17,71	Rotacijska	2,05	11,68	41

Tabela 11: Kinematični parametri izmeta najboljših srbskih metalcev krogle (Aleksić-Veljković s sod., 2011).

Z vidika metodološkega raziskovanja moramo omeniti doktorsko disertacijo avtorice Čerkez (2014), kjer so bile na večjem vzorcu vrhunskih tekmovalcev v suvanju krogle (vrednosti osnovnih kinematičnih parametrov so prikazane v Tabeli 12) izvedene multivariatne analize. Z linearno regresijo (metoda ForwardStepwise) je avtorica pojasnila 97 % variance izbranih kriterijev. Pri metalcih z rotacijsko tehniko suvanja krogle so se kot statistično značilni parametri, ki vplivajo na končni uspeh, pokazali povprečna hitrost krogle v izmetni fazi, izmetni kot, končna izmetna hitrost (vsi trije s pozitivnim vplivom) in telesna višina tekmovalca (negativen vpliv).

Dolžina meta (m)	Višina izmeta (m)	Izmetna hitrost (m/s)	Izmetni kot (stopinje)
18,61	2,22	13,14	34,75

Tabela 12: Povprečne vrednosti kinematičnih parametrov tekmovalcev na zimskem Evropskem prvenstvu v metih v Baru leta 2012 (Čerkez, 2014).

2.4. Problem raziskovanja

Gibanje človeškega telesa je zapleten sistem in je odvisen od številnih dejavnikov, med katere uvrščamo tako gibalni in živčni sistem, kot tudi njuno ravnovesje. Z razvojem tehnologije so v današnjem času omogočene različne metode snemanja in analiziranja gibanja človeškega telesa ter možnost natančne opredelitve gibanja telesa v prostoru. Biomehanska analiza se uporablja za določitev osnovnih kinematičnih in kinetičnih parametrov gibanja, oziroma za analizo prostorskih, časovnih in prostorsko-časovnih značilnosti gibanja (Milanović, 2009). Biomehanika v športu ima nalogo popravljati določena gibanja s ciljem izboljšanja rezultata. Podatki, pridobljeni iz biomehanskih analiz, se uporabljajo za ugotavljanje učinkovitosti tehnike suvanja krogle. Na osnovi kinematičnih parametrov lahko primerjamo uspešnost tehnične izvedbe športnika z modelom najboljše

izvedbe, dobljene na podlagi merjenja najboljših metalcev krogle. Kinematika danes omogoča analizo gibanja, ki je doslej bila človeškemu očesu popolnoma nevidna. Metoda temelji na snemanju gibanja s pomočjo visokofrekvenčnih video kamer, ki imajo hitrost snemanja med 25-1000 Hz v tridimenzionalnem prostoru. Na ta način lahko natančno določimo gibanje izbranih delov telesa, različne segmentne pospeške, vektorske hitrosti, amplitude gibanja, kotne hitrosti itn., tako v laboratorijskih kot tudi v tekmovalnih pogojih (Čerkez, 2014). Metoda zahteva vnaprej določene pogoje snemanja, natančno kalibracijo prostora, in sinhronizacijo dveh ali več kamer.

Zelo velik vpliv na dosežen rezultat v suvanju krogle imajo biomehanski parametri, ki pomembno prispevajo k tekmovalni uspešnosti. Predpostavlja se, da bo boljši rezultat dosegel tisti metalec krogle, ki bo svojo tehnično izvedbo bolj približal idealnemu modelu. Zato je problem te raziskave določitev nekaterih kinematičnih parametrov, ki bi predstavljali idealni model tehnične izvedbe, in potrditi njihov vpliv na tekmovalno uspešnost v disciplini suvanja krogle z rotacijsko tehniko na vzorcu vrhunskih metalcev krogle.

Iz dosedanjih študij lahko razberemo, da je bil večji del raziskovanja usmerjen v definiranje kinematičnih parametrov faze izmeta. Tako imamo že veliko podatkov o karakteristikah izmeta pri vrhunskih metalcih krogle z rotacijsko tehniko. Seveda s končnim uspehom v največji meri korelira končna izmetna hitrost, vendar je potrebno poudariti, da je le-ta posledica predhodnih gibanj, ki morajo zagotoviti ustrezen pospešek orodja (krogle). Zagotoviti pospešek v predhodnih fazah pa terja izvor energije, torej gibalne sekvence in potisne sile, ki to omogočita. Tako je namen te magistrske naloge na vzorcu vrhunskih metalcev krogle, ki uporabljajo rotacijsko tehniko metanja, definirati in določiti kinematične parametre predhodnih faz meta (faza obrata in prehitevanja orodja, začetek izmetne faze), ki generirajo pogoje za razvoj največje izmetne hitrosti in s tem končne dolžine meta. Problem naloge predstavlja tako reševanje vprašanja, ali je mogoče na osnovi izračunanih kinematičnih spremenljivk vseh faz meta in njihovih povezav ugotoviti uspešnost v suvanju krogle z rotacijsko tehniko pri vrhunskih metalcih. Nadalje bomo raziskovali, ali se kinematika razlikuje glede na tekmovalno kvaliteto metalcev krogle, in v katerih kinematičnih parametrih, ki neposredno vplivajo na končno izmetno hitrost in posledično dolžino meta, se različno kakovostni atleti razlikujejo. Iskanje kinematičnih parametrov, ki bi pokazali tehnično učinkovitost predhodnih faz meta, je izjemno pomembno, koristno in uporabno za praktične rešitve pri izboljšanju tehnike metalcev krogle z rotacijsko tehniko. Le-ta je v elitnih metalskih krogih prisotna pogosteje kot linearna tehnika, zato bo natančnejši vpogled v biomehanske zakonitosti vseh faz meta z rotacijsko tehniko omogočil boljše razumevanje najoptimalnejše tehnične izvedbe meta. S to nalogo želimo dodati nekaj novih informacij k skupnemu znanju, s katerimi bi lahko natančneje razumeli bistvo idealne tehnične izvedbe meta krogle z rotacijsko tehniko.

3. CILJI IN HIPOTEZE

Cilji

1. Ugotoviti kinematične parametre izmetne akcije pri rotacijski tehniki suvanja krogle.
2. Ugotoviti kinematične parametre v fazi obrata in prehitevanja orodja, ki neposredno vplivajo na fazo izmeta in s tem na končni rezultat pri rotacijski tehniki suvanja krogle.
3. Ugotoviti statistično značilne razlike v izbranih kinematičnih parametrih med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev rotacijske tehnike suvanja krogle.
4. Izračunati koeficiente korelacije izbranih kinematičnih parametrov s končnim rezultatom.
5. Z regresijsko analizo ugotoviti največjo prediktivno moč izbranih kinematičnih spremenljivk s tekmovalno uspešnostjo.

Hipoteze

- H₀1: Obstaja statistično značilna povezava med kinematičnim parametrom absolutne izmetne hitrosti in končnim rezultatom v suvanju krogle z rotacijsko tehniko.
- H₀2: Obstaja statistično značilna povezava med kinematičnim parametrom izmetnim kotom in končnim rezultatom v suvanju krogle z rotacijsko tehniko.
- H₀3: Obstaja statistično značilna razlika v kinematičnem parametru absolutne izmetne hitrosti med boljšo in slabšo skupino metalcev krogle.
- H₀4: Obstaja statistično značilna razlika v kinematičnem parametru izmetnim kotom med boljšo in slabšo skupino metalcev krogle.
- H₀5: Kinematični parameter absolutna izmetna hitrost ima visoko prediktivno moč z vidika tekmovalne uspešnosti.

4. METODE DE LA

4.1. Vzorec merjencev

V vzorec merjencev je bilo zajetih 10 atletov v disciplini suvanje krogle, ki so tekmovali na zimskem Evropskem prvenstvu v metih v Splitu leta 2008. Vsi atleti so uporabljali rotacijsko tehniko suvanja krogle. Povprečna starost merjencev je bila 28,5 +/- 3,5 let, povprečna telesna teža 123,6 +/- 46,4 kg, ter povprečna telesna višina 1,89 +/- 0,08 m. Vsi merjenci so bili seznanjeni z namenom eksperimenta in merilnimi postopki. Meritve so bile izvedene v skladu s Helsinško-Tokijsko deklaracijo. Potek meritev je odobrila tekmovalna komisija mednarodne atletske federacije (IAAF).

Tekmovalec	Država	Starost	Telesna višina	Telesna teža	Dolžina	Uvrstitev
H. Alič	BIH	29 let	1,86 m	128 kg	20,13 m	2.
A. Anastasopoulos	GRE	32 let	1,88 m	126 kg	18,75 m	8.
M. Fortes	POR	26 let	1,89 m	120kg	20,13 m	3.
R. Haggblom	FIN	26 let	1,83 m	110 kg	20,06 m	4.
M. Vodovnik	SLO	31 let	1,96 m	170 kg	19,77 m	5.
N. Mulabegović	CRO	27 let	1,89 m	125 kg	19,58 m	6.
R. Smith	NED	27 let	1,97 m	129 kg	20,77 m	1.
A. Siniakou	BLR	26 let	1,90 m	110 kg	19,29 m	7.
M. Statamatoyiatiannis	CYP	26 let	1,88 m	105 kg	18,25 m	9.
R. Toompuu	EST	27 let	1,86 m	120 kg	18,06 m	10.

Tabela 13: Osnovne značilnosti vzorca merjencev.

Za potrebe te magistrske naloge smo merjence razdelili v dve skupini, in sicer v skupino elitnih metalcev (n=6) ter skupino sub-elitnih metalcev (n=4). Kljub visokemu nivoju tekmovanja in homogenosti vzorca smo želeli z razdelitvijo v različni kakovostni skupini pridobiti natančnejši vpogled v razlike v kinematičnih dejavnikih, ki odločajo o tekmovalni uspešnosti v suvanju krogle. Atlete smo tako razdelili na podlagi ovrednotenja njihovega dosežka po mednarodno sprejetih madžarskih tablicah (Spiriev, 2011). Meja je bila postavljena na 1100 točk, kar pomeni met dolžine 19,65 metra. Vsi tekmovalci z rezultatom nad to dolžino so se razvrstili v skupino A (elitni), tekmovalci z doseženo daljavo nižjo od 19,65 m, pa so se razvrstili v skupino B (sub-elitni). Izjema je atlet Mulabegović N., ki ima mejno vrednost rezultata (19,58 m oziroma 1096 točk), zato smo ga uvrstili v skupino A.

SKUPINA A (elitni)		SKUPINA B (sub-elitni)	
Alič H.	20,13 m	Anastasopoulos A.	18,75 m
Fortes M.	20,13 m	Siniakou A.	19,29 m

Hagblom R.	20,06 m	Statamatoyiatiannis M.	18,25 m
Vodovnik M.	19,77 m	Toompuu R.	18,06 m
Mulabegovič N.	19,58 m		
Smith R.	20,77 m		

Tabela 14: Razdelitev merjencev v skupini A (elitni) in B (sub-elitni).

4.2. Merilni postopek

Meritve so bile izvedene na atletskem štadionu v Splitu 16. marca 2008 na zimskem Evropskem prvenstvu v metih. Nastopi tekmovalcev so bili določeni po mednarodnih atletskih pravilih, in sicer je imel vsak tekmovalec na voljo 3 mete, najboljših osem pa nato še dodatne tri. Registrirani so bili vsi meti vseh tekmovalcev, za končno analizo pa je bil izbran najdaljši met vsakega posameznega tekmovalca.

Snemanje smo opravili z dvema sinhroniziranimi visokofrekvenčnima kamerama (SONY, DVCAM DSR-300 PK, Japonska), ki sta bili postavljeni pod kotom 45 stopinj in 135 stopinj glede na smer meta. Frekvenca pri obeh kamerah je bila 50 Hz z ločljivostjo 720 x 576 točk. Analizirani prostor kroga je bil umerjen z referenčnim merilnim okvirjem dimenzij 1 m x 1 m x 2 m, pri čemer smo za kalibriranje upoštevali osem referenčnih vogalov. Z »x« osjo smo definirali dolžino, z »y« osjo višino, z »z« osjo pa globino analiziranega gibanja.

Pridobljeni podatki so bili obdelani v laboratoriju za kinematiko na Inštitutu za šport v Ljubljani. Za ugotavljanje biomehanskih parametrov tehnike smo uporabili programsko opremo APAS (Ariel Dynamics Inc., San Diego, Ca). Izvedena je bila digitalizacija 15-segmentnega modela telesa metalca, katerega smo definirali z 18 referenčnimi točkami. Osemnajsta točka je bila definirana s središčem krogle. Segmenti modela predstavljajo dele telesa povezane s točkastimi sklepi. Mase in težišča segmentov ter centralno težišče telesa (C.G.) so bili izračunani po antropometrijskem modelu (Dempster & coworkers, 1955, 1959). Koordinate točk telesa smo pogladili z digitalnim filtrom stopnje 7. S programskim paketom APAS smo ugotovili podatke o hitrostih, kotih in trajektorijah posameznih segmentov telesa.

4.3. Vzorec spremenljivk

Model spremenljivk, ki smo jih v magistrski nalogi preverili, vsebuje 22 kinematičnih parametrov. Model vsebuje:

* **D** – dolžina najdaljšega meta na tekmovanju (m),

* **V_x** – horizontalna izmetna hitrost (m/s),

* V_y – vertikalna izmetna hitrost (m/s),

* V_{xyz} – absolutna izmetna hitrost (m/s),



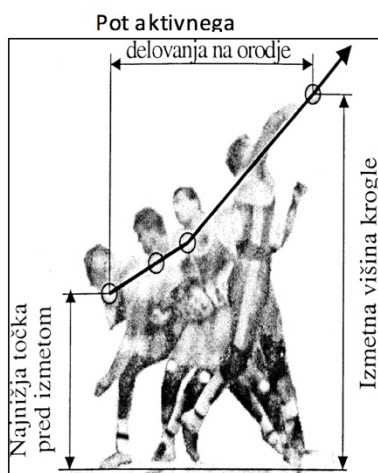
* H - višina izmeta (m),



* **Hdif** – razlika med višino izmeta (H) in višino tekmovalca (m),



* **L** – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v fazi izmeta (L) (m),



* α – izmetni kot krogle ($^{\circ}$),



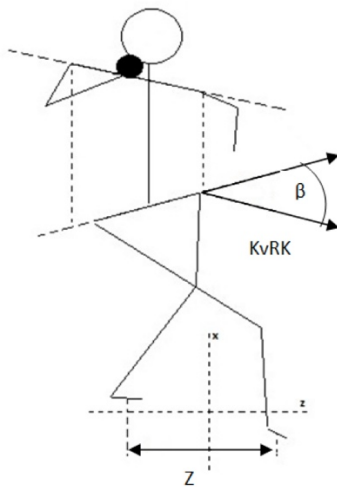
* **KvKM** – kotna hitrost v komolcu izmetne roke v trenutku izmeta (rad),

* **KvKN** – kotna hitrost v desnem kolenskem sklepu v trenutku izmeta (rad),



* β – kot med kolčno in ramensko os v začetku 2. dvooporne faze ($^{\circ}$),

* **Zdif** – odstopanje od idealne širine (20cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze (cm),



* **KvDavglzmet** – absolutna vrednost povprečne kotne hitrosti v desnem kolenskem sklepu v 2. dvooporni fazi, h kateri je prišteta razlika absolutne vrednosti povprečne kotne hitrosti v desnem kolenskem sklepu v 2. dvooporni fazi in absolutne vrednosti povprečne kotne hitrosti v desnem kolenskem sklepu v 3. enooporni fazi (rad),

* **KvRK** – seštevek absolutne vrednosti povprečne kotne hitrosti med ramensko in kolčno osjo v 2. dvooporni fazi in absolutne vrednosti povprečne kotne hitrosti med ramensko in kolčno osjo v 3. enooporni fazi (rad),

* **VkroglaObrat** – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, to je od konca 1. enooporne faze do začetka 2. dvooporne faze (m/s),

* **VkroglaIzguba** – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo (m/s),

* **VkroglaOpora** – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (m/s),

* **VkroglaDIF** – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti (V_{xyz}), (m/s),

* **LkolkAvgOpora** – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (m/s),

* **DkolkAvgOpora** – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (m/s),

* **LkolkDifDkolkAvg** – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (m/s),

* **DramaDifDkolkIzmet** – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi (m/s).

Spremenljivka	Oznaka	Enota
Dolžina najdaljšega meta	D	m
Horizontalna izmetna hitrost	V _x	m/s
Vertikalna izmetna hitrost	V _y	m/s
Absolutna izmetna hitrost	V _{xyz}	m/s
Višina izmeta	H	m
Razlika med višino izmeta in telesno višino	H _{dif}	m
Dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu	L	m
Izmetni kot krogle	α	°
Kotna hitrost v komolcu izmetne roke ob izmetu	KvKM	rad
Kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu	KvKN	rad
Kot med kolčno in ramensko os v začetku 2. dvooporne faze	β	°
Odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze	Z _{dif}	cm
Seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi	KvDavglzmet	rad
Seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi	KvRK	rad
Povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja	VkroglaObrat	m/s
Padeč povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo	VkroglaIzguba	m/s
Povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta	VkroglaOpora	m/s
Razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti	VkroglaDIF	m/s
Povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta	LkolkAvgOpora	m/s
Povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta	DkolkAvgOpora	m/s
Razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta	LkolkDifDkolkAvg	m/s
Razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi	DramaDifDkolkIzmet	m/s

Tabela 15: Prikaz 24 spremenljivk, od katerih sta telesna višina in telesna teža antropometrijski meri, preostalih 22 pa je kinematičnih parametrov.

4.4. Metode obdelave podatkov

Kinematične parametre smo za potrebe statistične analize razdelili po fazah meta (Tabela 16), in sicer na kinematične parametre v fazi obrata in prehitevanja orodja (1. enooporna faza, 1. brezoporna faza, 2. enooporna faza, začetek 2. dvooporne faze), kinematične parametre v fazi maksimalnega napora (2. dvooporna faza, 3. enooporna faza, začetek 2. brezoporne faze) ter kinematične parametre v samem izmetu krogle.

Faza obrata in prehitevanja orodja	Faza maksimalnega napora	Izmet krogle
Zdif	L	Vx
β	KvDavgIzmet	Vy
VkroglaObrat	KvRK	Vxyz
VkroglaIzguba	VkroglaOpora	H
	VkroglaDIF	Hdif
	LkolkAvgOpora	α
	DkolkAvgOpora	KvKM
	LkolkDifDkolkAvg	KvKN
		DramaDifDkolkIzmet

Tabela 16: Razvrstitev kinematičnih parametrov glede na faze meta.

Statistični postopki so bili obdelani s programskim paketom IBM SPSS Statistics, verzija 22.0.0. Na podlagi ciljev magistrske naloge smo uporabili sledeče statistične metode:

1) Izračunana je bila deskriptivna statistika za vse spremenljivke:

- aritmetična sredina (AS),
- standardni odklon – povprečno odstopanje od aritmetične sredine (SD),
- najmanjša vrednost (MIN),
- največja vrednost (MAX),
- koeficient sploščenosti – kurtosis (SPL),
- koeficient asimetričnosti – skewness (ASIM),
- Shapiro-Wilk test za ugotavljanje odstopanja od normalne porazdelitve (S-W).

2) Za ugotavljanje razlik v vrednosti kinematičnih parametrov med dvema skupinama merjencev (elitni in sub-elitni) smo uporabili t test za neodvisne vzorce. Z omenjenim testom so bili izračunani naslednji parametri:

- aritmetična sredina (AS),
- standardni odklon (SD),
- vrednost t testa (t),
- statistična značilnost (p).

3) Za ugotavljanje povezanosti izbranih kinematičnih parametrov s končnim rezultatom smo uporabili Pearsonov koeficient korelacije. Izračunani parametri so bili sledeči:

- vrednost koeficienta Pearsonove korelacije (r),
- statistična značilnost (p).

4) Za izračun vpliva izbranih kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost smo uporabili statistično metodo linearne regresije, metoda Enter. V sklopu regresijske analize smo izračunali naslednje parametre:

- koeficient multiple korelacije (R),
- koeficient determinacije (R kvadrat),
- popravljeni R kvadrat,
- statistično značilnost (p),
- nestandardizirane regresijske koeficiente (B),
- standardizirane regresijske koeficiente (Beta).

Vse hipoteze smo preverjali na ravni 5 % statističnega tveganja ($p \leq 0,05$).

Za izdelavo naloge, preglednic, grafikonov, enačb in izračunov smo uporabili programski paket Office Home & Student 2016 for Mac (Microsoft® Word for Mac, verzija 15.18, in Microsoft® Excel for Mac, verzija 15.18).

5. REZULTATI

Skladno z metodami dela, analizo in obdelavo podatkov, bodo v tem poglavju rezultati predstavljeni tematsko v sledečem vrstnem redu s podpoglavji:

- deskriptivni statistični parametri,
- razlike v kinematičnih parametrih med dvema skupinama tekmovalcev (t test),
- povezanost kinematičnih parametrov s končno dolžino meta (Pearsonov koeficient korelacije),
- vpliv izbranih kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost v suvanju krogle (linearna regresija).

5.1. DESKRIPTIVNI STATISTIČNI PARAMETRI

Na vzorcu 10 merjencev smo s pomočjo programskega paketa APAS pridobili osnovne kinematične parametre o položajih telesnih segmentov v časovnem prostoru skozi vse faze meta. Na podlagi dobljenih podatkov smo izračunali 21 kinematičnih spremenljivk (dolžina meta je bil uradni podatek tekmovanja) za najboljši met vsakega posameznega tekmovalca. V Tabeli 17 je prikazana deskriptivna statistika našega nabora 22 kinematičnih parametrov za celoten vzorec merjencev, ki vključuje izmerjeno uradno dolžino meta ter izračunanih 21 kinematičnih spremenljivk v različnih fazah meta (koti, kotne hitrosti, hitrosti, razdalje). Nekatero druge osnovne značilnosti vzorca merjencev pa so že bile predstavljene v Tabeli 13 v poglavju Metode dela.

SPREMENLJIVKA	AS	MIN	MAX	SD	SPL	ASIM	S-W	P
D (M)	19,48	18,06	20,77	0,88	-0,44	-0,81	0,94	0,546
VX (M/S)	10,32	9,49	11,58	0,62	0,69	0,78	0,96	0,745
VY (M/S)	8,09	7,09	8,47	0,42	-1,71	2,99	0,82	0,025*
VXYZ (M/S)	13,13	12,52	13,58	0,35	-0,70	-0,73	0,91	0,312
HDIF (M)	0,27	0,17	0,40	0,07	0,41	-0,20	0,98	0,952
H (M)	2,16	2,05	2,31	0,08	1,06	0,49	0,85	0,059
L (M)	1,51	1,37	1,64	0,09	-0,22	-0,28	0,93	0,472
α (°)	38,13	31,50	41,30	2,86	-1,62	2,66	0,83	0,037*
KVKM (RAD)	1064	871	1308	172,60	0,33	-1,73	0,88	0,145
KVKN (RAD)	9	-224	235	157,93	-0,09	-1,28	0,94	0,547
β (°)	44,25	34,60	61,20	8,03	0,96	0,97	0,93	0,484
ZDIF (CM)	9,20	2,00	22,00	7,90	0,75	-1,09	0,84	0,047*
VKROGLAOBRAT (M/S)	3,68	2,91	4,23	0,51	-0,32	-1,82	0,87	0,114
VKROGLAIZGUBA (M/S)	0,76	-0,53	1,41	0,57	-1,25	2,05	0,91	0,253
VKROGLAOPORA (M/S)	7,01	6,28	7,62	0,41	-0,12	-0,58	0,97	0,916
VKROGLADIF (M/S)	11,12	9,93	11,76	0,52	-1,28	2,31	0,90	0,242
KVDAVGIZMET (RAD)	214	62	399	108,25	0,32	-0,92	0,96	0,821
KVRK (RAD)	420	268	594	112,07	0,27	-1,17	0,94	0,583
LKOLKAVGOPORA (M/S)	1,62	1,39	1,77	0,13	-0,79	-0,01	0,89	0,178

DKOLKAVGOPORA (M/S)	1,77	1,44	2,20	0,24	0,50	-0,63	0,95	0,718
LKOLKDIFDKOLKAVG (M/S)	0,15	-0,20	0,55	0,28	0,27	-1,65	0,91	0,251
DRAMADIFDKOLKIZMET (M/S)	2,71	1,98	3,71	0,52	0,48	-0,06	0,96	0,837

Tabela 17: Deskriptivna statistika celotnega vzorca merjencev, kjer je: AS – aritmetična sredina, MIN – najmanjša vrednost, MAX – največja vrednost, SD – standardni odklon, SPL – koeficient sploščenosti (kurtosis), ASIM – koeficient asimetričnosti (skewness), S-W – vrednost Shapiro-Wilk testa, P – statistična značilnost Shapiro-Wilk testa.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, Vx – horizontalna izmetna hitrost, Vy – vertikalna izmetna hitrost, Vxyz – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, Hdif – razlika med višino izmeta in telesno višino, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, α – izmetni kot krogle, KvKM – kotna hitrost v komolcu izmetne roke ob izmetu, KvKN – kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu, β – kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, KvDavgIzmet – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkgroglObrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, Vkgroglalzguba – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, VkgroglOpورا – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, VkgroglDIF – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, LkolkAvgOpورا – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DkolkAvgOpورا – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, LkolkDifDkolkAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DramaDifDkolkIzmet – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi, * – statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$).

Test normalne porazdelitve vzorca spremenljivk je bil izračunan s Shapiro-Wilk testom (S-W) ter dodatno analiziran s koeficientoma sploščenosti (SPL) in asimetričnosti (ASIM). Rezultati Shapiro-Wilk testa so pokazali značilno odstopanje od normalne porazdelitve za spremenljivke Vertikalna hitrost krogle (Vy), Izmetni kot krogle (α) in Odstopanje od idealne širine postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze (Zdif). Parametra Vy in α imata tudi najvišje vrednosti koeficienta sploščenosti in asimetričnosti, in sicer Vy vrednosti -1,71 (SPL) ter 2,99 (ASIM), spremenljivka α pa -1,62 (SPL) in 2,66 (ASIM). Obe spremenljivki sta torej visoko desno asimetrični in imata sploščeno porazdelitev. Visoka desna asimetričnost rezultatov je prisotna še pri spremenljivki Razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (VkgroglDIF), visoka leva asimetričnost pa pri spremenljivkah Kotna hitrost v komolcu (KvKM), Kotna hitrost v kolenu (KvKN), Povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja (VkgroglObrat), Padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo (Vkgroglalzguba), Seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v fazi izmeta (KvRK) ter Razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (LkolkDifDkolkAvg). Sploščena porazdelitev rezultatov je prisotna pri spremenljivkah Padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo (Vkgroglalzguba) ter Razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (VkgroglDIF), koničasta porazdelitev pa pri spremenljivki Izmetna višina (H).

Deskriptivno statistiko smo nadalje izračunali tudi za obe skupini merjencev, katere smo razdelili na podlagi izmerjene dolžine, in sicer na skupino elitnih metalcev ($D > 19,50$ m) ter skupino sub-elitnih metalcev ($D < 19,50$ m). Vrednosti deskriptivne statistike za skupini elitnih in sub-elitnih metalcev so prikazane v Tabeli 18 in 19.

SPREMENLJIVKA	AS	MIN	MAX	SD	SPL	ASIM	S-W	P
D (M)	20,07	19,58	20,77	0,41	0,85	1,50	0,92	0,504
VX (M/S)	10,68	10,24	11,58	0,49	1,50	2,05	0,85	0,164
VY (M/S)	8,01	7,09	8,47	0,54	-1,13	0,40	0,87	0,228
VXYZ (M/S)	13,37	13,24	13,58	0,12	1,11	1,58	0,93	0,598
HDIF (M)	0,30	0,19	0,40	0,08	-0,11	-0,71	0,98	0,958
H (M)	2,19	2,11	2,31	0,09	0,67	-1,81	0,86	0,182
L (M)	1,56	1,50	1,64	0,06	0,54	-1,77	0,90	0,361
α (°)	36,88	31,50	39,60	3,09	-1,27	1,02	0,87	0,229
KVKM (RAD)	1042	871	1308	189,04	0,57	-1,88	0,86	0,182
KVKN (RAD)	-35	-196	163	118,96	0,60	1,55	0,95	0,776
β (°)	45,12	34,60	61,20	10,44	0,61	-0,96	0,92	0,485
ZDIF (CM)	4,33	2,00	11,00	3,61	1,65	2,26	0,75	0,020*
VKROGLAOBRAT (M/S)	3,79	2,91	4,23	0,55	-1,04	-0,83	0,81	0,080
VKROGLAIZGUBA (M/S)	0,80	-0,53	1,41	0,69	-1,86	3,91	0,80	0,057
VKROGLAOPORA (M/S)	7,04	6,28	7,48	0,43	-1,23	1,62	0,90	0,394
VKROGLADIF (M/S)	11,37	11,10	11,76	0,28	0,35	-2,11	0,85	0,162
KVDAVGIZMET (RAD)	250	105	399	114,33	-0,06	-1,68	0,94	0,638
KVRK (RAD)	484	374	594	88,87	-0,03	-2,16	0,93	0,556
LKOLKAVGOPORA (M/S)	1,64	1,39	1,77	0,14	-1,19	1,42	0,88	0,272
DKOLKAVGOPORA (M/S)	1,65	1,44	1,94	0,17	0,78	0,93	0,95	0,765
LKOLKDIFDKOLKAVG (M/S)	0,01	-0,20	0,55	0,27	2,06	4,55	0,75	0,021*
DRAMADIFDKOLKIZMET (M/S)	2,97	2,42	3,71	0,46	0,64	0,51	0,96	0,790

Tabela 18: Deskriptivna statistika skupine elitnih metalcev, kjer je: AS – aritmetična sredina, MIN – najmanjša vrednost, MAX – največja vrednost, SD – standardni odklon, SPL – koeficient sploščenosti (kurtosis), ASIM – koeficient asimetričnosti (skewness), S-W – vrednost Shapiro-Wilk testa, P – statistična značilnost Shapiro-Wilk testa.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, Vx – horizontalna izmetna hitrost, Vy – vertikalna izmetna hitrost, Vxyz – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, Hdif – razlika med višino izmeta in telesno višino, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, α – izmetni kot krogle, KvKM – kotna hitrost v kolencu izmetne roke ob izmetu, KvKN – kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu, β – kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, KvDavgizmet – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkgroglaoBrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, Vkgroglalzguba – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, VkgroglaoPora – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, Vkgrogladif – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, LkolkAvgOpora – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DkolkAvgOpora – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, LkolkDifDkolkAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DramaDifDkolkizmet – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi, * - statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$).

Rezultati deskriptivne statistike elitne skupine atletov so pokazali višjo aritmetično sredino parametra dolžina meta (D) od povprečne dolžine meta celotnega vzorca, in sicer je vrednost elitne skupine 20,07 m, medtem ko je celotnega vzorca 19,48 m. Podobno lahko vidimo tudi pri nekaterih ostalih biomehanskih parametrih, ki v največji meri definirajo dolžino meta. Tako so aritmetične sredine elitne skupine v primerjavi s celotnim vzorcem višje pri parametrih Končna izmetna hitrost (Vxyz), kjer je rezultat 13,37 m/s v primerjavi s 13,13 m/s, Izmetna višina (H), kjer je rezultat 2,19 m v primerjavi s 2,16 m, in Dolžina poti aktivnega delovanja na orodje (L), kjer je rezultat 1,56 m v primerjavi s 1,51 m. Tako lahko potrdimo razvrstitev atletov v skupino elitnih metalcev glede na kakovostni rang, saj so v primerjavi s celotnim vzorcem vrednosti nekaterih ključnih parametrov, ki definirajo uspešnost v suvanju krogle, višje. Nasprotno je le pri parametru Izmetni kot (α), katerega aritmetična sredina je nižja v skupini elitnih metalcev v primerjavi s celotnim vzorcem, in sicer je vrednost 36,88

stopinj v primerjavi z 38,13 stopinj. Shapiro-Wilk test normalnosti porazdelitve je pokazal statistično značilno odstopanje od normalne porazdelitve za parametra Odstopanje od idealne širine postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze (Zdif) in Razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (LkolkDifDkolkAvg). Pri parametru Zdif gre za koničasto porazdelitev (SPL = 1,65) ter visoko desno asimetrično porazdelitev (ASIM = 2,26). Pri parametru LkolkDifDkolkAvg so vrednosti prav tako visoko desno asimetrično porazdeljene (ASIM = 4,55) in imajo koničasto porazdelitev (SPL = 2,06).

SPREMENLJIVKA	AS	MIN	MAX	SD	SPL	ASIM	S-W	P
D (M)	18,59	18,06	19,29	0,55	0,66	-1,43	0,95	0,686
VX (M/S)	9,77	9,49	10,10	0,29	0,25	-3,71	0,92	0,541
VY (M/S)	8,20	8,05	8,33	0,12	-0,46	0,41	0,99	0,956
VXYZ (M/S)	12,76	12,52	13,04	0,23	0,30	-2,43	0,96	0,785
HDIF (M)	0,23	0,17	0,27	0,05	-1,25	0,98	0,89	0,404
H (M)	2,11	2,05	2,13	0,04	-1,91	3,68	0,72	0,018*
L (M)	1,43	1,37	1,49	0,07	-0,02	-5,89	0,76	0,053
α (°)	40,00	39,20	41,30	0,93	1,30	1,50	0,90	0,447
KVKM (RAD)	1097	948	1296	165,59	0,46	-3,22	0,90	0,421
KVKN (RAD)	75	-224	235	203,90	-1,72	3,23	0,81	0,131
β (°)	42,95	39,00	45,00	2,81	-1,38	1,33	0,84	0,199
ZDIF (CM)	16,50	7,00	22,00	6,86	-1,24	0,79	0,88	0,340
VKROGLAOBRAT (M/S)	3,51	3,13	4,07	0,44	0,68	-2,08	0,90	0,430
VKROGLAIZGUBA (M/S)	0,70	0,36	1,30	0,42	1,64	2,92	0,84	0,210
VKROGLAOPORA (M/S)	6,95	6,66	7,62	0,45	1,91	3,73	0,74	0,031*
VKROGLADIF (M/S)	10,75	9,93	11,41	0,61	-0,71	1,54	0,96	0,780
KVDAVGIZMET (RAD)	161	62	262	84,47	0,05	-0,34	1,00	0,998
KVRK (RAD)	323	268	412	62,00	1,45	2,65	0,88	0,319
LKOLKAVGOPORA (M/S)	1,58	1,42	1,67	0,11	-1,62	2,71	0,85	0,212
DKOLKAVGOPORA (M/S)	1,95	1,65	2,20	0,23	-0,46	0,17	0,99	0,958
LKOLKDIFDKOLKAVG (M/S)	0,36	0,23	0,52	0,14	0,32	-3,98	0,88	0,354
DRAMADIFDKOLKIZMET (M/S)	2,34	1,98	2,88	0,38	1,36	2,53	0,88	0,358

Tabela 19: Deskriptivna statistika skupine sub-elitnih metalcev, kjer je: AS – aritmetična sredina, MIN – najmanjša vrednost, MAX – največja vrednost, SD – standardni odklon, SPL – koeficient sploščenosti (kurtosis), ASIM – koeficient asimetričnosti (skewness), S-W – vrednost Shapiro-Wilk testa, P – statistična značilnost Shapiro-Wilk testa.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, Vx – horizontalna izmetna hitrost, Vy – vertikalna izmetna hitrost, Vxyz – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, Hdif – razlika med višino izmeta in telesno višino, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, α – izmetni kot krogle, KvKM – kotna hitrost v komolcu izmetne roke ob izmetu, KvKN – kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu, β – kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, KvDavgIzmet – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkgroglObrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, Vkgroglalzguba – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, VkgroglOpora – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, VkgroglDIF – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, LkolkAvgOpora – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DkolkAvgOpora – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, LkolkDifDkolkAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DramaDifDkolkIzmet – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi, * - statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$).

Deskriptivna statistika skupine sub-elitnih metalcev je pokazala nižjo vrednost aritmetične sredine (AS) za parameter Dolžina meta (D) v primerjavi s celotnim vzorcem, in sicer 18,59 m pri sub-elitnih metalcih v primerjavi z 19,48 m celotnega vzorca. Podobno so nižje tudi vrednosti nekaterih ostalih biomehanskih parametrov, ki definirajo uspešnost v suvanju

krogle. Tako je AS parametra Končna izmetna hitrost (V_{xyz}) pri sub-elitnih metalcih 12,76 m/s, celotnega vzorca pa 13,13 m/s. AS parametra Izmetna višina (H) 2,11 m pri sub-elitnih in 2,16 m pri celotnem vzorcu, ter AS parametra Dolžina poti aktivnega delovanja na orodje (L) 1,43 m pri sub-elitnih metalcih in 1,51 m pri celotnem vzorcu merjencev. Ponovno lahko potrdimo pravilno razvrstitev tekmovalcev v skupino sub-elitnih metalcev glede na kakovostni nivo. Nepričakovano odstopanje lahko opazimo le pri parametru Izmetni kot (α), kjer je AS višja v skupini sub-elitnih metalcev (40 stopinj) v primerjavi s celotnim vzorcem (38,13 stopinj) in v primerjavi s skupino elitnih metalcev (36,88 stopinj). Shapiro-Wilk test normalnosti porazdelitve vzorca je pokazal statistično značilen odklon od normalne porazdelitve za parameter Izmetna višina (H), kjer so bile vrednosti asimetričnosti (ASIM) 3,68 in sploščenosti (SPL) -1,91, ter parameter Povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (VkroglaOpora), kjer smo zabeležili vrednosti asimetričnosti (ASIM) 3,73 in sploščenosti (SPL) 1,91. Pri parametru H opazimo torej sploščeno porazdelitev, ki je visoko desno asimetrična, pri parametru VkroglaOpora pa koničasto porazdelitev, ki je prav tako visoko desno asimetrična.

5.2. RAZLIKE V KINEMATIČNIH PARAMETRIH MED SKUPINAMA ELITNIH IN SUB-ELITNIH METALCEV

V tem poglavju so prikazani rezultati univariatne analize primerjave aritmetičnih sredin (t test za neodvisne vzorce) kinematičnih parametrov med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev krogle. V Tabeli 20 so najprej podani rezultati parametričnega testa enakosti varianc (Levenov test).

SPREMENLJIVKA	VREDNOST F	P
D (M)	0,92	0,367
VX (M/S)	0,85	0,383
VY (M/S)	5,33	0,050*
VXYZ (M/S)	4,07	0,078
HDIF (M)	1,23	0,299
H (M)	4,22	0,074
L (M)	0,57	0,474
ALFA (°)	4,07	0,078
KVKM (RAD)	0,28	0,646
KVKN (RAD)	1,36	0,277
BETA (°)	7,84	0,023*
ZDIF (CM)	1,58	0,244
VKROGLAOBRAT (M/S)	0,62	0,452
VKROGLAIZGUBA (M/S)	0,33	0,581
VKROGLAOPORA (M/S)	0,01	0,909
VKROGLADIF (M/S)	1,04	0,338
KVDAVGIZMET (RAD)	1,24	0,297

KVRK (RAD)	2,54	0,150
LKOLKAVGOPORA (M/S)	0,19	0,672
DKOLKAVGOPORA (M/S)	0,37	0,559
LKOLKDIFDKOLKAVG (M/S)	0,39	0,549
DRAMADIFDKOLKIZMET (M/S)	0,17	0,693

Tabela 20: Levenov test enakosti varianc, kjer je: P – statistična značilnost.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, V_x – horizontalna izmetna hitrost, V_y – vertikalna izmetna hitrost, V_{xyz} – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, H_{dif} – razlika med višino izmeta in telesno višino, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, α – izmetni kot krogle, $KvKM$ – kotna hitrost v komolcu izmetne roke ob izmetu, $KvKN$ – kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu, β – kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, Z_{dif} – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, $KvDavglzmet$ – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, $KvRK$ – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, $VkroglaObrat$ – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, $VkroglaIzguba$ – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, $VkroglaOpora$ – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, $VkroglaDIF$ – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, $LkolkAvgOpora$ – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, $DkolkAvgOpora$ – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, $LkolkDifDkolkAvg$ – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, $DramaDifDkolkizmet$ – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi, * - statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$).

Rezultati Levenovega testa za homogenost varianc so pokazali statistično značilno odstopanje v varianci med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev za parametra Vertikalna hitrost (V_y) in Kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze (β). Zato smo pri računanju statistike upoštevali prilagojen rezultat, katerega ponudi program pri t testu za neodvisne vzorce v primeru kršenja osnovne postavke o enakosti varianc. Rezultati t testa so prikazani v Tabeli 21.

SPREMENLJIVKA	ELITNI (N=6)		SUB-ELITNI (N=4)		t	p
	AS	SD	AS	SD		
D (M)	20,07	0,41	18,59	0,55	4,94	0,001*
VX (M/S)	10,68	0,49	9,77	0,29	3,29	0,011*
VY (M/S)	8,01	0,54	8,20	0,12	-0,83	0,441
VXYZ (M/S)	13,37	0,12	12,76	0,23	5,52	0,001*
HDIF (M)	0,30	0,08	0,23	0,05	1,46	0,182
H (M)	2,19	0,09	2,11	0,04	1,84	0,103
L (M)	1,56	0,06	1,43	0,07	3,21	0,012*
ALFA (°)	36,88	3,09	40,00	0,93	-1,93	0,090
KVKM (RAD)	1042	189,04	1097	165,59	-0,47	0,652
KVKN (RAD)	-35	118,96	75	203,90	-1,09	0,308
BETA (°)	45,12	10,44	42,95	2,81	0,48	0,646
ZDIF (CM)	4,33	3,61	16,50	6,86	-3,71	0,006*
VKROGLAOBRAT (M/S)	3,79	0,55	3,51	0,44	0,82	0,436
VKROGLAIZGUBA (M/S)	0,80	0,69	0,70	0,42	0,27	0,797
VKROGLAOPORA (M/S)	7,04	0,43	6,95	0,45	0,32	0,760
VKROGLADIF (M/S)	11,37	0,28	10,75	0,61	2,22	0,057
KVDAVGIZMET (RAD)	250	114,33	161	84,47	1,31	0,226
KVRK (RAD)	484	88,87	323	62,00	3,12	0,014*
LKOLKAVGOPORA (M/S)	1,64	0,14	1,58	0,11	0,68	0,518
DKOLKAVGOPORA (M/S)	1,65	0,17	1,95	0,23	-2,30	0,051
LKOLKDIFDKOLKAVG (M/S)	0,01	0,27	0,36	0,14	-2,29	0,051
DRAMADIFDKOLKIZMET (M/S)	2,97	0,46	2,34	0,38	2,27	0,053

Tabela 21: Rezultati univariatne razlike (t test za neodvisne vzorce) v kinematičnih parametrih med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev krogle, kjer je: AS – aritmetična sredina, SD – standardni odklon, t – vrednost t testa, p – statistična značilnost t testa.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, V_x – horizontalna izmetna hitrost, V_y – vertikalna izmetna hitrost, V_{xyz} – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, H_{dif} – razlika med višino izmeta in telesno višino, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, α – izmetni kot krogle, $KvKM$ – kotna hitrost v komolcu izmetne roke ob izmetu, $KvKN$ – kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu, β – kot med kolčno

in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, KvDavgIzmet – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkroglaObrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, Vkgroglazguba – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, VkroglaOpora – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, VkgrogladIF – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, LkolkAvgOpora – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DkolkAvgOpora – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, LkolkDifDkolkAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DramaDifDkolkIzmet – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi, * - statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$).

Rezultati t testa za neodvisne vzorce so pokazali statistično značilne razlike v aritmetičnih sredinah med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev krogle pri šestih kinematičnih parametrih. In sicer so rezultati t testa pokazali značilne razlike v doseženi končni daljavi (D) med obema skupinama metalcev, kjer so elitni metalci statistično značilno suvali kroglo dlje na Evropskem zimskem prvenstvu v metih ($20,07 \pm 0,41$) od sub-elitnih metalcev ($18,59 \pm 0,55$). Naslednji parameter, ki je značilno razlikoval obe skupini, je Horizontalna izmetna hitrost (V_x). Skupina elitnih metalcev je imela statistično značilno višjo horizontalno izmetno hitrost ($10,68 \pm 0,49$) od skupine sub-elitnih metalcev ($9,77 \pm 0,29$). Značilno razlikovanje med obema skupinama metalcev je tudi pri parametru Končna izmetna hitrost (V_{xyz}), kjer je ponovna skupina elitnih metalcev ($13,37 \pm 0,12$) imela statistično značilno višjo končno izmetno hitrost od skupine sub-elitnih ($12,76 \pm 0,23$). Med parametri, ki niso izključno vezani na finalno izmetno akcijo, pa se skupini statistično značilno razlikujeta v dolžini poti, kjer metalec aktivno deluje na orodje (L). In sicer so elitni metalci ($1,56 \pm 0,06$) značilno dlje delovali na orodje kot sub-elitni tekmovalci ($1,43 \pm 0,07$). Prav tako se skupini značilno razlikujeta v kotni hitrosti med kolčno in ramensko osjo od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (KvRK), kjer so elitni metalci ($484 \pm 88,87$) dosegli statistično značilne višje hitrosti od sub-elitnih ($323 \pm 62,00$). Še zadnji parameter, kjer smo izračunali značilno razlikovanje med skupino elitnih in sub-elitnih tekmovalcev, pa je vezan na fazo obrata in prehitevanja orodja, in sicer je to postavitve širine stopal v začetku 2. dvooporne faze, ki se razlikuje od idealne postavitve (Zdif). In sicer so elitni metalci ($4,33 \pm 3,61$) statistično značilno postavljali stopala v širino, ki je bližja idealni postavitvi, kot pa sub-elitni atleti ($16,50 \pm 6,86$).

5.3. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV S KONČNIM REZULTATOM

To poglavje bo predstavilo povezanost kinematičnih parametrov s končnim rezultatom za celoten vzorec merjencev kot tudi za skupino elitnih in sub-elitnih atletov. Predstavili bomo še korelacije med posameznimi kinematičnimi parametri v različnih fazah meta. Zaradi velikega števila spremenljivk bodo rezultati predstavljeni tematsko, in sicer bodo najprej predstavljene korelacije kinematičnih parametrov faze obrata in prehitevanja orodja s končnim rezultatom, nato korelacije kinematičnih parametrov faze maksimalnega napora s končno daljavo, kateremu bo sledil še prikaz korelacij kinematičnih parametrov izmeta krogle z dolžino meta. Sledila bo predstavitev korelacij vseh spremenljivk, ki so statistično značilne na 1 % nivoju, na 5 % nivoju, ter neznačilne korelacije, katerih vrednosti so zelo blizu

statistične značilnosti. Za konec poglavja bomo predstavili še korelacije kinematičnih parametrov s končnim uspehom za skupini elitnih in sub-elitnih metalcev.

5.3.1. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV FAZE OBRATA IN PREHITEVANJA ORODJA S KONČNIM REZULTATOM

		D	β	ZDIF	VKROGLAOBRAT	VKROGLAIZGUBA
D	R	1,000	0,017	-0,648*	0,074	0,012
	P	/	0,963	0,043	0,839	0,973
β	R	0,017	1,000	-0,097	0,703*	0,657*
	P	0,963	/	0,789	0,023	0,039
ZDIF	R	-0,648*	-0,097	1,000	0,019	0,040
	P	0,043	0,789	/	0,958	0,912
VKROGLAOBRAT	R	0,074	0,703*	0,019	1,000	0,850**
	P	0,839	0,023	0,958	/	0,002
VKROGLAIZGUBA	R	0,012	0,657*	0,040	0,850**	1,000
	P	0,973	0,039	0,912	0,002	/

Tabela 22: Povezanost kinematičnih parametrov faze obrata in prehitevanja orodja s končnim rezultatom, kjer je: R – vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta, p – statistična značilnost.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, β – kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, VkgroglaoBrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, VkgroglalzGuba – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, * - statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$), ** - statistična značilnost na 1 % nivoju ($p < 0,01$).

V Tabeli 22 so predstavljene vrednosti Pearsonovega korelacijskega koeficienta za kinematične parametre faze obrata in prehitevanja orodja z dolžino meta. Edino značilno povezanost s končnim rezultatom ima parameter Odstopanje od idealne širine postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze (Zdif), in sicer je povezava značilna na nivoju 5 % tveganja ($p = 0,043$). Vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta je negativna (-0,648), kar pomeni, da manjši rezultat, odnosno manjše odstopanje od idealne postavitve stopal (20 cm) v začetku 2. dvooporne faze višje korelira z boljšim končnim rezultatom. Med posameznimi parametri pa značilno korelirajo parameter Kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze (β) s parametrom Povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja (VkgroglaoBrat) in s parametrom Padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo (VkgroglalzGuba). Obe korelaciji sta statistično značilni na nivoju 5 % tveganja. Značilno korelacijo med parametroma VkgroglaoBrat in VkgroglalzGuba ne bomo upoštevali pri razpravi, saj sta parametra kolinearna.

5.3.2. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV FAZE MAKSIMALNEGA NAPORA S KONČNIM REZULTATOM

		D	L	VKROGLAOPORA	VKROGLADIF	KVDAVGIZMET	KVRK	LKOLKAVGOPORA	DKOLKAVGOPORA	LKOLKIDFDKOLKAVG
D	R	1,000	0,621	0,028	0,777**	0,384	0,724*	0,156	-0,757*	-0,705*
	p	/	0,056	0,938	0,008	0,274	0,018	0,668	0,011	0,023
L	R	0,621	1,000	0,163	0,409	-0,048	0,767**	0,343	-0,305	-0,406
	p	0,056	/	0,653	0,241	0,896	0,010	0,332	0,392	0,244
VKROGLAOPORA	R	0,028	0,163	1,000	-0,530	-0,414	0,594	-0,152	0,213	0,246
	p	0,938	0,653	/	0,115	0,234	0,070	0,675	0,555	0,494
VKROGLADIF	R	0,777**	0,409	-0,530	1,000	0,505	0,262	0,182	-0,637	-0,614

	p	0,008	0,241	0,115	/	0,137	0,465	0,615	0,048	0,059
KVDAVGIZMET	R	0,384	-0,048	-0,414	0,505	1,000	-0,170	0,379	-0,571	-0,652
	p	0,274	0,896	0,234	0,137	/	0,638	0,280	0,084	0,041
KVRK	R	0,724*	0,767**	0,594	0,262	-0,170	1,000	-0,014	-0,337	-0,275
	p	0,018	0,010	0,070	0,465	0,638	/	0,969	0,341	0,443
LKOLKAVGOPORA	R	0,156	0,343	-0,152	0,182	0,379	-0,014	1,000	-0,120	-0,557
	p	0,668	0,332	0,675	0,615	0,280	0,969	/	0,741	0,095
DKOLKAVGOPORA	R	-0,757*	-0,305	0,213	-0,637*	-0,571	-0,337	-0,120	1,000	0,892**
	p	0,011	0,392	0,555	0,048	0,084	0,341	0,741	/	0,001
LKOLKDIFDKOLKAVG	R	-0,705*	-0,406	0,246	-0,614	-0,652*	-0,275	-0,557	0,892**	1,000
	p	0,023	0,244	0,494	0,059	0,041	0,443	0,095	0,001	/

Tabela 23: Povezanost kinematičnih parametrov faze maksimalnega napora s končnim rezultatom, kjer je: R – vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta, p – statistična značilnost.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, KvDavgIzmet – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkroglAOpora – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, VkroglADIF – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, LkolkAvgOpora – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DkolkAvgOpora – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, LkolkDifDkolkAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, * - statistična značilnost na 5% nivoju ($p < 0,05$), ** - statistična značilnost na 1 % nivoju ($p < 0,01$).

V Tabeli 23 so predstavljene vrednosti Pearsonovega korelacijskega koeficienta za kinematične parametre faze maksimalnega napora z dolžino meta. S končnim rezultatom so značilno povezani štiri kinematični parametri, in sicer Razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti (VkroglADIF) s Pearsonovim korelacijskim koeficientom 0,777, pri katerem je korelacija značilna na nivoju 1 % tveganja ($p=0,008$), Seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi (KvRK), Povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (DkolkAvgOpora), ter Razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (LkolkDifDkolkAvg). Pri zadnjih treh parametrih je povezanost značilna na nivoju 5 % tveganja. Pri parametrih DkolkAvgOpora in LkolkDifDkolkAvg pa je povezava negativna ($R=-0,757$ in $-0,705$), torej manjša vrednost rezultata pri omenjenih parametrih višje korelira s končnim uspehom.

Med posameznimi parametri je pokazanih še nekaj statistično značilnih povezav. Najmočnejša korelacija na nivoju 1 % tveganja je med parametroma KvRK in Dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo (L) z vrednostjo Pearsonovega korelacijskega koeficienta 0,767 ($p=0,010$). Na 5 % nivoju tveganja pa značilno korelirajo še VkröglADIF in DkolkAvgOpora ($R=-0,637$, $p=0,048$) ter parameter Seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi (KvDavgIzmet) in LkolkDifDkolkAvg ($R=-0,652$, $p=0,041$). Značilno korelacijo med DkolkAvgOpora in LkolkDifDkolkAvg ne bomo upoštevali pri razpravi, saj sta spremenljivki kolinearni.

5.3.3. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV IZMETA KROGLE S KONČNIM REZULTATOM

		D	VX	VY	VXYZ	HDIF	H	α	KVKM	KVKN	DRAMADIFDKOLKIZMET
D	R	1,000	0,643	0,024	0,902**	0,509	0,669	-0,373	-0,179	-0,232	0,642
	P	/	0,045	0,948	0,000	0,133	0,034	0,288	0,620	0,519	0,045
VX	R	0,643	1,000	-0,734	0,888**	-0,147	0,184	-0,946*	0,184	-0,227	0,357
	P	0,045	/	0,016	0,001	0,684	0,611	0,000	0,611	0,528	0,312
VY	R	0,024	-0,734	1,000	-0,342	0,607	0,297	0,914*	-0,524	0,102	0,052
	P	0,948	0,016	/	0,334	0,063	0,404	0,000	0,120	0,780	0,887
VXYZ	R	0,902**	0,888**	-0,342	1,000	0,209	0,466	-0,692*	-0,102	-0,259	0,509
	P	0,000	0,001	0,334	/	0,562	0,175	0,027	0,779	0,469	0,133
HDIF	R	0,509	-0,147	0,607	0,209	1,000	0,825**	0,379	-0,319	-0,287	0,459
	P	0,133	0,684	0,063	0,562	/	0,003	0,281	0,369	0,422	0,182
H	R	0,669	0,184	0,297	0,466	0,825**	1,000	0,035	-0,196	-0,338	0,300
	P	0,034	0,611	0,404	0,175	0,003	/	0,923	0,587	0,340	0,400
α	R	-0,373	-0,946*	0,914*	-0,692*	0,379	0,035	1,000	-0,362	0,173	-0,194
	P	0,288	0,000	0,000	0,027	0,281	0,923	/	0,304	0,633	0,591
KVKM	R	-0,179	0,184	-0,524	-0,102	-0,319	-0,196	-0,362	1,000	0,197	0,010
	P	0,620	0,611	0,120	0,779	0,369	0,587	0,304	/	0,585	0,979
KVKN	R	-0,232	-0,227	0,102	-0,259	-0,287	-0,338	0,173	0,197	1,000	-0,275
	P	0,519	0,528	0,780	0,469	0,422	0,340	0,633	0,585	/	0,443
DRAMADIFDKOLKIZMET	R	0,642	0,357	0,052	0,509	0,459	0,300	-0,194	0,010	-0,275	1,000
	P	0,045	0,312	0,887	0,133	0,182	0,400	0,591	0,979	0,443	/

Tabela 24: Povezanost kinematičnih parametrov izmeta krogle s končnim rezultatom, kjer je: R – vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta, p – statistična značilnost.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, Vx – horizontalna izmetna hitrost, Vy – vertikalna izmetna hitrost, Vxyz – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, Hdif – razlika med višino izmeta in telesno višino, α – izmetni kot krogle, Kvkm – kotna hitrost v kolencu izmetne roke ob izmetu, Kvkn – kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu, DramaDifDkolkizmet – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi, * - statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$), ** - statistična značilnost na 1 % nivoju ($p < 0,01$).

V Tabeli 24 so predstavljene vrednosti Pearsonovega korelacijskega koeficienta za kinematične parametre izmeta krogle z dolžino meta. Najvišjo povezanost s končnim rezultatom med vsemi kinematičnimi parametri v našem modelu ima pričakovano Končna izmetna hitrost (Vxyz), kjer vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta znaša 0,902, korelacija pa je značilna na nivoju 1 % statističnega tveganja ($p = 0,000$). Značilno povezavo z doseženo daljavo meta imajo še parametri Horizontalna izmetna hitrost (Vx), Izmetna višina (H) ter Razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi (DramaDifDkolkizmet). Vse povezave so statistično značilne na nivoju 5 % tveganja.

Med posameznimi parametri so značilne povezave med parametrom Izmetni kot (α) in Vxyz kot tudi njenimi komponentami. Najvišja povezanost je med Vx in α ($R = -0,946$, $p = 0,000$), ki je statistično značilna na nivoju 1 % tveganja in je negativna. Torej povečevanje horizontalne hitrosti v izmetu je negativno povezano z izmetnim kotom, in ker je Vx pomembnejša komponenta Vxyz ($R = 0,888$, $p = 0,001$) kot Vertikalna izmetna hitrost (Vy), posledično sledi tudi rezultat, da ima povečevanje izmetne hitrosti negativno korelacijo z izmetnim kotom ($R = -0,692$, $p = 0,027$).

5.3.4. KORELACIJE KINEMATIČNIH PARAMETROV

Zaradi kompleksnosti prikaza celotne tabele korelacij med vsemi 22 spremenljivkami bomo v spodnjih Tabelah 25, 26 in 27 predstavili vse statistično značilne korelacije, ki smo jih izračunali med posameznimi kinematičnimi parametri. In sicer so vrednosti podane v 3

različnih tabelah glede na moč korelacije. Tako so v Tabeli 25 predstavljene vse korelacije, ki so statistično značilne na nivoju 1 % tveganja, v Tabeli 26 vse korelacije, ki so statistično značilne na nivoju 5 % tveganja, ter v Tabeli 27 vse korelacije, ki niso značilne, a so vrednosti Pearsonovega koeficienta korelacije zelo blizu meje statistične značilnosti.

KINEMATIČNI PARAMETRI	R	P
D↔VXYZ	0,902	0,000
D↔VKROGLADIF	0,777	0,008
VX↔VXYZ	0,888	0,001
VX↔ α	-0,946	0,000
VY↔ α	0,914	0,000
HDIF↔H	0,825	0,003
L↔KVRK	0,767	0,010
KVKN↔ZDIF	0,816	0,004
VKROGLAOBRAT↔VKROGLAIZGUBA	0,850	0,002
KVDAVGIZMET↔DRAMADIFDKOLKIZMET	0,791	0,006
DKOLKAVGOPORA↔LKOLKDIFDKOLKAVG	0,892	0,001

Tabela 25: Korelacije kinematičnih parametrov, ki so na nivoju 1 % statistične značilnosti ($p < 0,01$). Pri tem je: R – vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta, P – statistična značilnost.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, Vx – horizontalna izmetna hitrost, Vy – vertikalna izmetna hitrost, Vxyz – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, Hdif – razlika med višino izmeta in telesno višino, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, KvKN – kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, KvDavgizmet – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkroglaObrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, VkroglaIzguba – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, VkroglaDif – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, DkolkAvgOpora – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, LkolkDifDkolkAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DramaDifDkolkizmet – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi.

KINEMATIČNI PARAMETRI	R	P
D↔VX	0,643	0,045
D↔H	0,669	0,034
D↔ZDIF	-0,648	0,043
D↔KVRK	0,724	0,018
D↔DKOLKAVGOPORA	-0,757	0,011
D↔LKOLKDIFDKOLKAVG	-0,705	0,023
D↔DRAMADIFDKOLKIZMET	0,642	0,045
VX↔VY	-0,734	0,016
VX↔KVRK	0,637	0,047
VXYZ↔ α	-0,692	0,027
VXYZ↔ZDIF	-0,665	0,036
VXYZ↔VKROGLADIF	0,681	0,030
VXYZ↔KVRK	0,748	0,013
HDIF↔L	0,680	0,031
HDIF↔VKROGLAIZGUBA	0,632	0,050
H↔L	0,713	0,021
β ↔VKROGLAOBRAT	0,703	0,023
β ↔VKROGLAIZGUBA	0,657	0,039
β ↔VKROGLAOPORA	-0,702	0,024
β ↔KVDAVGIZMET	0,688	0,028
ZDIF↔KVRK	-0,714	0,020

VKROGLAIZGUBA↔LKOLKAVGOPORA	0,669	0,035
VKROGLADIF↔DKOLKAVGOPORA	-0,637	0,048
KVDAVGIZMET↔LKOLKDIFDKOLKAVG	-0,652	0,041
LKOLKDIFDKOLKAVG↔DRAMADIFDKOLKIZMET	-0,704	0,023

Tabela 26: Korelacije kinematičnih parametrov, ki so na nivoju 5% statistične značilnosti ($p < 0.05$). Pri tem je: R – vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta, P – statistična značilnost.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, V_x – horizontalna izmetna hitrost, V_y – vertikalna izmetna hitrost, V_{xyz} – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, Hdif – razlika med višino izmeta in telesno višino, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, α – izmetni kot krogle, β – kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, KvDavglzmet – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkrOglaObrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, VkrOglalzguba – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, VkrOglaOpora – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, VkrOglaDIF – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, LkolAvgOpora – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DkolAvgOpora – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, LkolDifDkolAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DramaDifDkolklzmet – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi.

KINEMATIČNI PARAMETRI	R	P
D↔L	0,621	0,056
VX↔ZDIF	-0,586	0,075
VY↔HDIF	0,607	0,063
VY↔VKROGLAIZGUBA	0,585	0,076
VXYZ↔DKOLKAVGOPORA	-0,601	0,066
H↔VKROGLADIF	0,620	0,056
ZDIF↔L	-0,582	0,078
VKROGLAOBRAT↔VKROGLAOPORA	-0,588	0,074
VKROGLAOBRAT↔LKOLKAVGOPORA	0,577	0,081
VKROGLAOBRAT↔LKOLKDIFDKOLKAVG	-0,571	0,084
VKROGLAIZGUBA↔LKOLKDIFDKOLKAVG	-0,568	0,087
VKROGLAOPORA↔KVRK	0,594	0,070
VKROGLADIF↔LKOLKDIFDKOLKAVG	-0,614	0,059
KVDAVGIZMET↔DKOLKAVGOPORA	-0,571	0,084

Tabela 27: Korelacije kinematičnih parametrov, ki so blizu nivoja 5 % statistične značilnosti. Pri tem je: R – vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta, P – statistična značilnost.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, V_x – horizontalna izmetna hitrost, V_y – vertikalna izmetna hitrost, V_{xyz} – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, Hdif – razlika med višino izmeta in telesno višino, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, KvDavglzmet – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkrOglaObrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, VkrOglalzguba – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, VkrOglaOpora – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, VkrOglaDIF – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, LkolAvgOpora – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DkolAvgOpora – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, LkolDifDkolAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta.

5.3.5. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV S KONČNIM REZULTATOM V SKUPINI ELITNIH IN SUB-ELITNIH METALCEV

V tem poglavju bomo predstavili povezanost kinematičnih parametrov s končnim rezultatom za skupino elitnih metalcev (Tabela 28) in skupino sub-elitnih metalcev (Tabela 29).

KINEMATIČNI PARAMETRI	R	P
D↔VX	-0,525	0,285
D↔VY	0,632	0,178
D↔VXYZ	-0,076	0,886
D↔HDIF	0,664	0,151
D↔H	0,776	0,069
D↔L	0,682	0,135
D↔ α	0,591	0,216
D↔KVKM	-0,040	0,941
D↔KVKN	0,077	0,885
D↔ β	-0,342	0,507
D↔ZDIF	-0,104	0,844
D↔VKROGLAOBRAT	-0,216	0,682
D↔VKROGLAIZGUBA	0,174	0,742
D↔VKROGLAOPORA	0,025	0,963
D↔VKROGLADIF	0,592	0,216
D↔KVDAVGIZMET	-0,303	0,560
D↔KVRK	0,502	0,311
D↔LKOLKAVGOPORA	-0,076	0,886
D↔DKOLKAVGOPORA	-0,538	0,271
D↔LKOLKDIFDKOLKAVG	-0,299	0,565
D↔DRAMADIFDKOLKIZMET	-0,002	0,997

Tabela 28: Povezanost kinematičnih parametrov skupine elitnih metalcev s končnim rezultatom, kjer je: R – vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta, p – statistična značilnost.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, Vx – horizontalna izmetna hitrost, Vy – vertikalna izmetna hitrost, Vxyz – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, Hdif – razlika med višino izmeta in telesno višino, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, α – izmetni kot krogle, KvKM – kotna hitrost v komolcu izmetne roke ob izmetu, KvKN – kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu, β – kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, KvDavgizmet – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkgroglaoBrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitavanja orodja, VkgroglalzGuba – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, VkgroglaoPora – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, Vkgrogladif – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, LkolkAvgOpora – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DkolkAvgOpora – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, LkolkDifDkolkAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DramaDifDkolkizmet – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi.

V skupini elitnih metalcev nismo ugotovili statistično značilne korelacije kinematičnih parametrov s končnim rezultatom. Še najbližje značilni povezanosti je bil parameter Višina izmeta (H), saj je bila vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta 0,776 (p=0,069).

KINEMATIČNI PARAMETRI	R	P
D↔VX	0,952*	0,048
D↔VY	0,309	0,691
D↔VXYZ	0,995**	0,005
D↔HDIF	-0,550	0,450
D↔H	-0,151	0,849
D↔L	-0,929	0,071
D↔ α	-0,705	0,295
D↔KVKM	-0,133	0,867
D↔KVKN	0,242	0,758
D↔ β	0,130	0,870
D↔ZDIF	0,298	0,702
D↔VKROGLAOBRAT	-0,590	0,410
D↔VKROGLAIZGUBA	-0,807	0,193

D↔VKROGLAOPORA	-0,333	0,667
D↔VKROGLADIF	0,657	0,343
D↔KVDVAVGIZMET	0,617	0,383
D↔KVRK	-0,173	0,827
D↔LKOLKAVGOPORA	-0,134	0,866
D↔DKOLKAVGOPORA	-0,549	0,451
D↔LKOLKDIFDKOLKAVG	-0,813	0,187
D↔DRAMADIFDKOLKIZMET	0,648	0,352

Tabela 29: Povezanost kinematičnih parametrov skupine sub-elitnih metalcev s končnim rezultatom, kjer je: R – vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta, p – statistična značilnost.

Legenda: D – dolžina najdaljšega meta, V_x – horizontalna izmetna hitrost, V_y – vertikalna izmetna hitrost, V_{xyz} – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, Hdif – razlika med višino izmeta in telesno višino, L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, α – izmetni kot krogle, KvKM – kotna hitrost v komolcu izmetne roke ob izmetu, KvKN – kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu, β – kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, KvDavgIzmet – seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkgroglObrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, Vkgroglalzguba – padec povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo, VkgroglOpora – povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, VkgroglDIF – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, LkolkAvgOpora – povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DkolkAvgOpora – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, LkolkDifDkolkAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, DramaDifDkolkIzmet – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi, * - statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$), ** - statistična značilnost na 1 % nivoju ($p < 0,01$).

V skupini sub-elitnih metalcev smo ugotovili statistično značilno povezanost s končnim rezultatom za parametra Končna izmetna hitrost (V_{xyz}) in Horizontalna izmetna hitrost (V_x). Povezanost prvega s končnim uspehom je značilna na nivoju 1 % tveganja ($R=0,995$, $p=0,005$), povezanost drugega pa na nivoju 5 % tveganja ($R=0,952$, $p=0,048$).

5.4. VPLIV KINEMATIČNIH PARAMETROV NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE Z ROTACIJSKO TEHNIKO

Z uporabo linearne regresije (metoda Enter) smo izračunali vpliv izbranih kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost v suvanju krogle z rotacijsko tehniko, in sicer z različnim naborom spremenljivk. Le-ta je bil osnovan na podlagi korelacijske analize povezanosti kinematičnih parametrov s končnim rezultatom v posameznih fazah meta kot celotnega modela spremenljivk (poglavje 3.4.) in na podlagi mehanskih zakonitosti meta. Tako smo najprej izračunali vpliv kinematičnih parametrov, ki določajo osnovne mehanske zakonitosti poševnega meta. Sledil je izračun vpliva kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost z naborom spremenljivk celotnega modela, ki niso bila zajeta v prvem modeliranju. Zadnji trije izračuni regresijske analize pa so zajemali spremenljivke posameznih faz meta, in sicer faze obrata in prehitevanja orodja, faze maksimalnega napora in faze samega izmeta krogle. Rezultati posameznega regresijskega modeliranja bodo v takšnem vrstnem redu predstavljeni tudi po posameznih podpoglavjih.

5.4.1. VPLIV KINEMATIČNIH PARAMETROV, KI DOLOČAJO MEHANSKE ZAKONITOSTI META, NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE

Prvi model izbora kinematičnih parametrov za regresijsko analizo je zajemal kinematične parametre, ki določajo mehanske zakonitosti poševnega meta. In sicer so to Končna izmetna hitrost (V_{xyz}), Izmetna višina (H) in Izmetni kot (α). Rezultati so prikazani v Tabelah 30, 31 in 32.

MODEL	R	R KVADRAT	POPRAVLJENI R KVADRAT	STANDARDNA NAPAKA OCENE
1	0,973	0,946	0,919	0,25196

Tabela 30: Linearna regresijska analiza potencialne tekmovalne uspešnosti v suvanju krogle z rotacijsko tehniko, kjer je: 1 – model izbranih spremenljivk (V_{xyz} , H , α), R – koeficient multiple korelacije, R KVADRAT – koeficient determinacije. **Legenda:** 1 – prediktorji: (konstanta), V_{xyz} , H , α .

	VSOTA KVADRATOV	DF	POVPREČJE VSOTE KVADRATOV	F	P
REGRESIJA	6,657	3	2,219	34,953	0,000**
OSTANEK	0,381	6	0,063		
SKUPNO	7,038	9			

Tabela 31: Analiza statističnega testa ANOVA za izbrani model spremenljivk (prediktorji: (konstanta), V_{xyz} , H , α , odvisna spremenljivka je dolžina), kjer je: DF – stopnje prostosti, F – vrednost statistike F , P – statistična značilnost. **Legenda:** ** - statistična značilnost na nivoju 1 % tveganja ($p < 0,01$).

	NESTANDARDIZIRANI KOEFICIENTI		STANDARDIZIRANI KOEFICIENTI	T	P
	B	SD	Beta		
(KONSTANTA)	-24,616	5,868		-4,195	0,006**
VXYZ	2,759	0,449	1,103	6,148	0,001**
H	1,542	1,409	0,142	1,095	0,316
α	0,119	0,049	0,385	2,426	0,051

Tabela 32: Rezultati regresijske analize na izbranem modelu spremenljivk (odvisna spremenljivka je dolžina), kjer je: B – vrednost nestandardiziranih regresijskih koeficientov, SD – standardna napaka, $Beta$ – vrednost standardiziranih regresijskih koeficientov, T – vrednost statistike t , P – statistična značilnost. **Legenda:** V_{xyz} – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, α – izmetni kot krogle, ** - statistična značilnost na 1 % nivoju ($p < 0,01$).

Z izbranimi kinematičnimi parametri smo uspeli pojasniti 94,6 % tekmovalne uspešnosti ($R^2=0,946$). Rezultati kažejo, da je izbrani model spremenljivk statistično značilen ($F=34,953$, $p < 0,05$). Pri pregledu posameznih parametrov in njihovega prispevka k našemu regresijskemu modelu vidimo, da je samo končna izmetna hitrost (V_{xyz}) značilen prediktor našega modela ($p=0,001$). Na meji statistično značilnega vpliva je tudi parameter Izmetni kot (α) ($p=0,051$). Na podlagi rezultatov smo dobili sledečo regresijsko enačbo:

$$REZULTAT = -24,616 + 2,759 * V_{xyz} + 1,542 * H + 0,119 * \alpha$$

5.4.2. VPLIV IZBRANIH KINEMATIČNIH PARAMETROV NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE

V drugem regresijskem modelu smo izračunali vpliv kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost iz nabora vseh ostalih spremenljivk, ki niso bile vključene v prvi model. Izbrali smo 4 kinematične parametre, ki so imeli najvišjo vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta s končno dolžino meta, in sicer Odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze (Zdif), Seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi (KvRK), Razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti (VkrogladIF) ter Povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (DkolkAvgOpora). Rezultati so prikazani v Tabelah 33, 34 in 35.

MODEL	R	R KVADRAT	POPRAVLJENI R KVADRAT	STANDARDNA NAPAKA OCENE
2	0,984	0,968	0,943	0,21165

Tabela 33: Linearna regresijska analiza potencialne tekmovalne uspešnosti v suvanju krogle z rotacijsko tehniko, kjer je: 1 – model izbranih spremenljivk (VkrogladIF, Zdif, KvRK, DkolkAvgOpora), R – koeficient multiple korelacije, R KVADRAT – koeficient determinacije. **Legenda:** 1 – prediktorji: (konstanta), VkrogladIF, Zdif, KvRK, DkolkAvgOpora.

	VSOTA KVADRATOV	DF	POVPREČJE VSOTE KVADRATOV	F	P
REGRESIJA	6,814	4	1,703	38,026	0,001**
OSTANEK	0,224	5	0,045		
SKUPNO	7,038	9			

Tabela 34: Analiza statističnega testa ANOVA za izbrani model spremenljivk (prediktorji: (konstanta), VkrogladIF, Zdif, KvRK, DkolkAvgOpora, odvisna spremenljivka je dolžina), kjer je: DF – stopnje prostosti, F – vrednost statistike F, P – statistična značilnost. **Legenda:** ** - statistična značilnost na nivoju 1 % tveganja ($p < 0,01$).

	NESTANDARDIZIRANI KOEFICIENTI		STANDARDIZIRANI KOEFICIENTI	T	P
	B	SD	Beta		
(KONSTANTA)	10,525	2,479		4,246	0,008**
KVRK	0,003	0,001	0,351	3,003	0,030*
ZDIF	-0,026	0,013	-0,230	-1,907	0,115
VKROGLADIF	0,856	0,181	0,505	4,734	0,005**
DKOLKAVGOPORA	-0,840	0,416	-0,227	-2,020	0,099

Tabela 35: Rezultati regresijske analize na izbranem modelu spremenljivk (odvisna spremenljivka je dolžina), kjer je: B – vrednost nestandardiziranih koeficientov, SD – standardna napaka, Beta – vrednost standardiziranih koeficientov, T – vrednost statistike t, P – statistična značilnost. **Legenda:** Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkrogladIF – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, DkolkAvgOpora – povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, * - statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$), ** - statistična značilnost na 1 % nivoju ($p < 0,01$).

Z izbranim modelom spremenljivk smo uspeli pojasniti 96,8 % tekmovalne uspešnosti ($R^2=0,968$), model pa je statistično značilen ($F=38,026$, $p < 0,05$). Pri pregledu posameznih kinematičnih parametrov in njihovega prispevka k regresijskemu modelu vidimo, da sta

značilna prediktorja modela parametra KvRK ($p=0,030$) in VkrogladIF ($p=0,005$). Na podlagi rezultatov regresijske analize smo dobili regresijsko enačbo:

$$REZULTAT = -10,525 + 0,003 * KvRK - 0,026 * Zdif + 0,856 * VkgrogladIF - 0,840 * DkolkAvgOpora$$

5.4.3. VPLIV IZBRANIH KINEMATIČNIH PARAMETROV FAZE OBRATA IN PREHITEVANJA ORODJA NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE

V tretjem regresijskem modelu smo izračunali vpliv nekaterih kinematičnih parametrov v fazi obrata in prehitevanja orodja na tekmovalno uspešnost. Izmed možnih 4 smo izbrali 3 parametre, in sicer Kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze (β), Odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze (Zdif) ter Povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja (VkroglaObrat). Rezultati so prikazani v Tabelah 36, 37 in 38.

MODEL	R	R KVADRAT	POPRAVLJENI R KVADRAT	STANDARDNA NAPAKA OCENE
3	0,672	0,451	0,177	0,80220

Tabela 36: Linearna regresijska analiza potencialne tekmovalne uspešnosti v suvanju krogle z rotacijsko tehniko, kjer je: 1 – model izbranih spremenljivk (β , Zdif, VkgrogladObrat), R – koeficient multiple korelacije, R KVADRAT – koeficient determinacije. **Legenda:** 1 – prediktorji: (konstanta), β , Zdif, VkgrogladObrat.

	VSOTA KVADRATOV	DF	POVPREČJE VSOTE KVADRATOV	F	P
REGRESIJA	3,177	3	1,059	1,645	0,276
OSTANEK	3,861	6	0,644		
SKUPNO	7,038	9			

Tabela 37: Analiza statističnega testa ANOVA za izbrani model spremenljivk (prediktorji: (konstanta), β , Zdif, VkgrogladObrat, odvisna spremenljivka je dolžina), kjer je: DF – stopnje prostosti, F – vrednost statistike F, P – statistična značilnost.

	NESTANDARDIZIRANI KOEFICIENTI		STANDARDIZIRANI KOEFICIENTI	T	P
	B	SD	Beta		
(KONSTANTA)	19,690	1,989		9,897	0,000**
β	-0,024	0,047	-0,218	-0,505	0,631
ZDIF	-0,075	0,034	-0,674	-2,202	0,070
VKROGLAOBRAT	0,420	0,750	0,240	0,560	0,596

Tabela 38: Rezultati regresijske analize na izbranem modelu spremenljivk (odvisna spremenljivka je dolžina), kjer je: B – vrednost nestandardiziranih koeficientov, SD – standardna napaka, Beta – vrednost standardiziranih koeficientov, T – vrednost statistike t, P – statistična značilnost. **Legenda:** β – kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, Zdif – odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze, VkgrogladObrat – povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja, ** - statistična značilnost na 1 % nivoju ($p < 0,01$).

Z opisanim regresijskim modelom smo pojasnili 45,1 % tekmovalne uspešnosti ($R^2=0,946$), pri čemer model ni statistično značilen ($F=1,645$, $p=0,276$). Prav tako ni noben kinematični parameter značilen prediktor modela. Regresijska enačba je:

$$REZULTAT = 19,690 - 0,024*\beta - 0,075*Zdif + 0,420*VkroglaObrat$$

5.4.4. VPLIV IZBRANIH KINEMATIČNIH PARAMETROV FAZE MAKSIMALNEGA NAPORA NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE

V četrtem regresijskem modelu smo izračunali vpliv določenih kinematičnih parametrov v fazi maksimalnega napora na uspešnost v suvanju krogle. Od 8 izračunanih parametrov smo izbrali 4, in sicer Dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu (L), Izmetni kot krogle (α), Seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi (KvRK), Razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti (VkroglaDIF) ter Razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (LkolkDifDkolkAvg). Rezultati regresijske analize so prikazani v Tabelah 39, 40 in 41.

MODEL	R	R KVADRAT	POPRAVLJENI R KVADRAT	STANDARDNA NAPAKA OCENE
4	0,980	0,961	0,929	0,23536

Tabela 39: Linearna regresijska analiza potencialne tekmovalne uspešnosti v suvanju krogle z rotacijsko tehniko, kjer je: 1 – model izbranih spremenljivk (L, VkroglaDIF, KvRK, LkolkDifDkolkAvg), R – koeficient multiple korelacije, R KVADRAT – koeficient determinacije. **Legenda:** 1 – prediktorji: (konstanta), L, VkroglaDif, KvRK, LkolkDifDkolkAvg.

	VSOTA KVADRATOV	DF	POVPREČJE VSOTE KVADRATOV	F	P
REGRESIJA	6,761	4	1,690	30,514	0,001**
OSTANEK	0,277	5	0,055		
SKUPNO	7,038	9			

Tabela 40: Analiza statističnega testa ANOVA za izbrani model spremenljivk (prediktorji: (konstanta), L, VkroglaDIF, KvRK, LkolkDifDkolkAvg, odvisna spremenljivka je dolžina), kjer je: DF – stopnje prostosti, F – vrednost statistike F, P – statistična značilnost. **Legenda:** ** - statistična značilnost na nivoju 1 % tveganja ($p < 0,01$).

	NESTANDARDIZIRANI KOEFICIENTI		STANDARDIZIRANI KOEFICIENTI	T	P
	B	SD	Beta		
(KONSTANTA)	11,381	2,625		4,335	0,007**
L	-2,443	1,499	-0,242	-1,630	0,164
VKROGLADIF	0,866	0,196	0,511	4,426	0,007**
KVRK	0,005	0,001	0,695	5,002	0,004**
LKOLKDIFDKOLKAVG	-0,936	0,361	-0,299	-2,593	0,049*

Tabela 41: Rezultati regresijske analize na izbranem modelu spremenljivk (odvisna spremenljivka je dolžina), kjer je: B – vrednost nestandardiziranih koeficientov, SD – standardna napaka, Beta – vrednost standardiziranih koeficientov, T – vrednost statistike t, P – statistična značilnost. **Legenda:** L – dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu, α – izmetni kot krogle, KvRK – seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi, VkroglaDIF – razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti, LkolkDifDkolkAvg – razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta, * - statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$), ** - statistična značilnost na 1 % nivoju ($p < 0,01$).

Z izbranimi kinematičnimi parametri smo uspeli pojasniti 96,1 % tekmovalne uspešnosti ($R^2=0,961$). Rezultati kažejo, da je izbrani model spremenljivk statistično značilen ($F=30,514$, $p<0,05$). Pri pregledu posameznih parametrov in njihovega prispevka k našemu regresijskemu modelu vidimo, da imam 3 značilne prediktorje modela. To so VkgrogladIF ($p=0,007$), KvRK ($p=0,004$) in LkolkDifDkolkAvg ($p=0,049$). Parameter L edini v modelu ni značilen prediktor ($p=0,164$). Na podlagi rezultatov smo dobili sledečo regresijsko enačbo:

$$REZULTAT = 11,381 - 2,443 * L + 0,866 * VkgrogladIF + 0,005 * KvRK - 0,936 * LkolkDifDkolkAvg$$

5.4.5. VPLIV IZBRANIH KINEMATIČNIH PARAMETROV V IZMETU NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE

Z zadnjim predstavljenim regresijskim modelom smo izračunali vpliv nekaterih kinematičnih parametrov v trenutku samega izmeta na tekmovalno uspešnost v suvanju krogle. Izmed 9 smo izbrali 4 kinematične parametre, in sicer Absolutna izmetna hitrost (V_{xyz}), Višina izmeta (H), Izmetni kot krogle (α) ter Razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi (DramaDifDkolkIzmet). Rezultati regresijske analize so predstavljeni v Tabelah 42, 43 in 44.

MODEL	R	R KVADRAT	POPRAVLJENI R KVADRAT	STANDARDNA NAPAKA OCENE
5	0,982	0,964	0,936	0,22376

Tabela 42: Linearna regresijska analiza potencialne tekmovalne uspešnosti v suvanju krogle z rotacijsko tehniko, kjer je: 1 – model izbranih spremenljivk (V_{xyz} , H , α , DramaDifDkolkIzmet), R – koeficient multiple korelacije, R KVADRAT – koeficient determinacije. **Legenda:** 1 – prediktorji: (konstanta), V_{xyz} , H , α , DramaDifDkolkIzmet.

	VSOTA KVADRATOV	DF	POVPREČJE VSOTE KVADRATOV	F	P
REGRESIJA	6,788	4	1,697	33,892	0,001**
OSTANEK	0,250	5	0,050		
SKUPNO	7,038	9			

Tabela 43: Analiza statističnega testa ANOVA za izbrani model spremenljivk (prediktorji: (konstanta), V_{xyz} , H , α , DramaDifDkolkIzmet, odvisna spremenljivka je dolžina), kjer je: DF – stopnje prostosti, F – vrednost statistike F , P – statistična značilnost. **Legenda:** ** - statistična značilnost na nivoju 1 % tveganja ($p<0,01$).

	NESTANDARDIZIRANI KOEFICIENTI		STANDARDIZIRANI KOEFICIENTI	T	P
	B	SD	Beta		
(KONSTANTA)	-20,699	5,748		-3,601	0,016*
VXYZ	2,431	0,447	0,972	5,437	0,003**
H	1,693	1,255	0,156	1,349	0,235
α	0,101	0,045	0,326	2,237	0,075
DRAMADIFDKOLKIZMET	0,279	0,173	0,164	1,615	0,167

Tabela 44: Rezultati regresijske analize na izbranem modelu spremenljivk (odvisna spremenljivka je dolžina), kjer je: B – vrednost nestandardiziranih koeficientov, SD – standardna napaka, $Beta$ – vrednost

standardiziranih koeficientov, T – vrednost statistike t, P – statistična značilnost. Legenda: V_{xyz} – absolutna izmetna hitrost, H – višina izmeta, α – izmetni kot krogle, DramaDifDkolkIzmet – razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi, * - statistična značilnost na 5 % nivoju ($p < 0,05$), ** - statistična značilnost na 1 % nivoju ($p < 0,01$).

Z izbranim modelom spremenljivk smo uspeli pojasniti 96,4 % tekmovalne uspešnosti v suvanju krogle z rotacijsko tehniko ($R^2=0,964$). Izbrani model kinematičnih parametrov je statistično značilen ($F=33,892$, $p < 0,05$). Pri pregledu posameznih parametrov in njihovega prispevka k našemu regresijskemu modelu vidimo, da je samo končna izmetna hitrost (V_{xyz}) značilen prediktor našega modela ($p=0,003$). Blizu meje statistično značilnega vpliva je še parameter Izmetni kot (α) ($p=0,075$). Regresijska enačba iz dobljenih rezultatov je:

$$REZULTAT = -20,699 + 2,431 * V_{xyz} + 1,693 * H + 0,101 * \alpha + 0,279 * DramaDifDkolkIzmet$$

6. RAZPRAVA

Diskusija dobljenih rezultatov bo izvedena v skladu s predstavljenimi rezultati v predhodnem poglavju. Tako bomo tematsko prediskutirali dobljene rezultate, z znanjem dosedanjih raziskav primerjali in ocenjevali naše delo ter preko razprave podali nove ugotovitve in smernice za nadaljnja raziskovalna dela na tem področju.

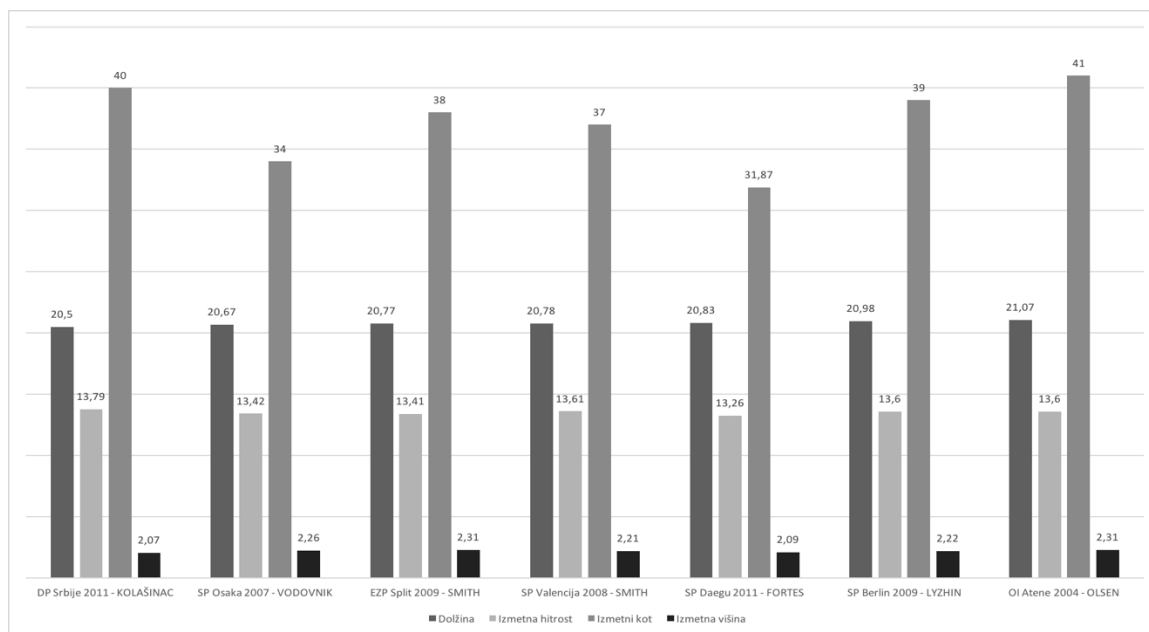
Dosedanje strokovne in znanstvene raziskave na področju suvanja krogle so v večji meri zajemale manjše vzorce tekmovalcev visoke kvalitete, ki so uporabljali linearno in rotacijsko tehniko suvanja krogle (Ariel, 2004, Byun s sod., 2008, Čoh in Supej, 2008, Harasin s sod., 2008, Gutierrez-Davilla s sod., 2009, Schaa, 2010, Oh s sod., 2011). Sicer se je intenzivnejše raziskovanje omenjene atletske discipline pričelo že v 70. in 80. letih prejšnjega stoletja, kjer so najbolj poznani avtorji Zatsiorsky, Lanka, Susanka, Grigalka idr. ugotavljali vpliv osnovnih zakonitosti poševnega meta in časovnih sekvenc gibanja na dolžino meta v suvanju krogle. Vendar smo šele z razvojem diagnostične tehnologije in merilne opreme za analizo kinematike gibanja dobili natančnejši vpogled v tehniko suvanja krogle. Digitalizacija video posnetkov nam omogoča analizo najbolj elitnih tekmovalcev na največjih tekmovanjih brez neposrednega motenja njihovega nastopa oziroma modifikacije opreme, ki jo uporabljajo. Da se čim pogosteje uporablja elitni vzorec atletov za kinematične analize, je pomembno predvsem zaradi dejstva, da je velik prediktor uspeha v atletskih disciplinah dolžina trenaznega staža, ki vpliva na večjo stabilnost tehničnega modela in visok nivo telesne pripravljenosti. In relativna homogenost teh dveh dejavnikov pri najboljših atletih svetovnega ranga dejansko omogoča bolj realno analizo in ocenjevanje vpliva kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost.

V zadnjih 15 letih smo dobili številne študije vrhunskih metalcev krogle na tekmovanjih najvišjega ranga. Raziskave so se v osnovi nanašale predvsem na ugotavljanje kinematičnih parametrov izmeta, kot so izmetna hitrost krogle, izmetna višina in izmetni kot pri najboljših atletih te discipline (Hubbard, 2001, Linthorne, 2001, Ariel, 2004, Čoh in Štuhec, 2005, Čoh in Jošt, 2005, Schaa, 2010, Aleksić-Veljković s sod., 2011, Oh s sod., 2011). Raziskave so si v izmerjenih parametrih dosledne (Slika 11), vsekakor pa predstavljajo le prvi korak v poglobljeno iskanje kinematičnih parametrov, ki bi definirali najoptimalnejšo tehnično izvedbo meta krogle. Nekatere novejšje študije so že raziskovale vpliv kinematičnih dejavnikov, ki niso vezani izključno na izmetno fazo (Byun s sod., 2008, Harasin s sod., 2008, Gutierrez-Davilla s sod., 2009, Harasin s sod., 2010, Čerkez, 2014), vendar zaradi različnega nabora analiziranih kinematičnih parametrov v posameznih študijah neposredne primerjave v vrednostih nimamo. Še manjše število je takšnih raziskav, ki bi uporabljale statistične analize za ugotavljanje povezanosti kinematičnih parametrov s končno dolžino ter računanje vpliva parametrov na tekmovalno uspešnost (Byun s sod., 2008, Čerkez, 2014).

6.1. ANALIZA REZULTATOV DESKRIPTIVNE STATISTIKE

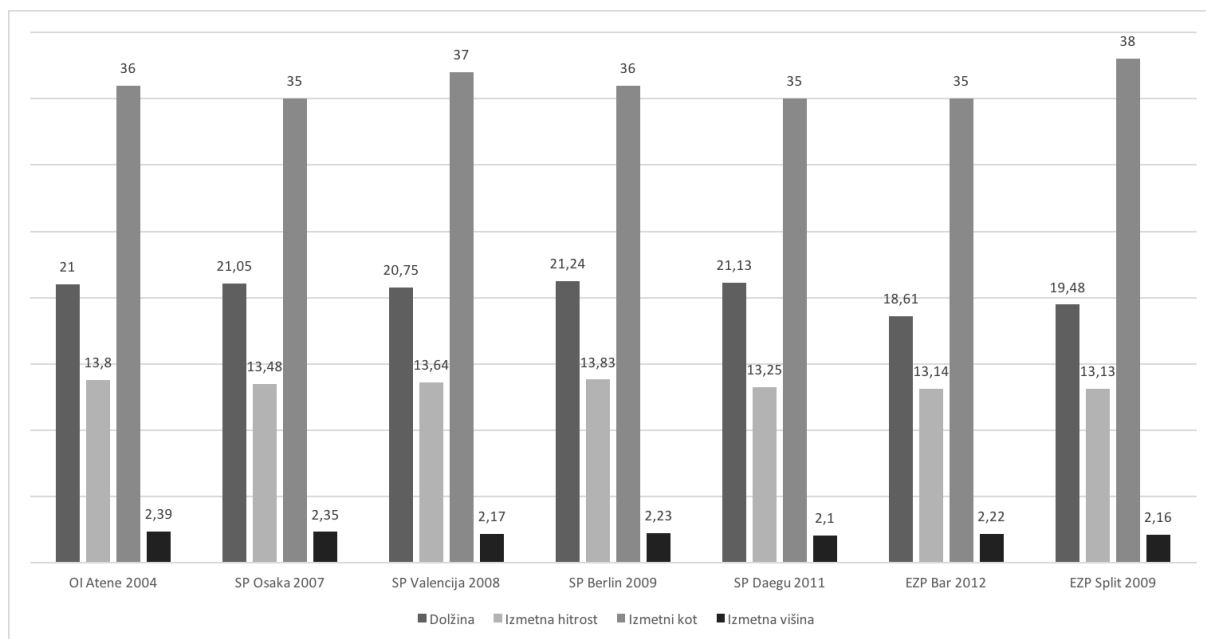
Rezultati deskriptivne statistike so potrdili elitnost našega vzorca merjencev (povprečna dolžina meta 19,48 m), saj so vrednosti kinematičnih parametrov izmeta (povprečna izmetna hitrost 13,13 m/s, povprečni izmetni kot 38 stopinj, povprečna izmetna višina 2,16 m) primerljive z do sedaj objavljenimi študijami najboljših metalcev krogle na svetu. Ariel (2004) je pri analizi medalistov meta krogle na olimpijskih igrah v Atenah leta 2004 dobil podatek o povprečni izmetni hitrosti 13,8 m/s, povprečni višini izmeta 2,39 m ter povprečnem izmetnem kotu 36 stopinj za povprečno dolžino 21,00 m. Byun s sod. (2008) je pri finalistih svetovnega prvenstva v Osaki leta 2007 izračunal povprečno izmetno hitrost 13,48 m/s, povprečni izmetni kot 35 stopinj in povprečno izmetno višino 2,35 m za povprečno dolžino meta 21,05 m. Gutierrez-Davilla s sod. (2009) je pri finalistih dvoranskega svetovnega prvenstva v Valenciji leta 2008, ki so imeli povprečno dolžino meta 20,75 m, ugotovil povprečno izmetno hitrost 13,64 m/s, povprečni izmetni kot 37 stopinj in povprečno izmetno višino 2,17 m. Schaa (2010) je pri finalistih svetovnega prvenstva v Berlinu leta 2009 izračunal povprečno izmetno hitrost 13,83 m/s, povprečni izmetni kot 36 stopinj in povprečno izmetno višino 2,23 m. Povprečna dolžina meta finalistov tega tekmovanja je bila 21,24 m. Raziskava svetovnega prvenstva v Daeguju leta 2011 (Oh, 2011) je pri finalistih pokazala povprečno izmetno hitrost 13,25 m/s, povprečni izmetni kot 35 stopinj in povprečno izmetno višino 2,10 m. Povprečna dolžina meta teh finalistov je bila 21,13 m. Omeniti velja še doktorsko disertacijo Čerkez (2014), ki je na tekmovanju podobnem našemu pri finalistih meta krogle izračunala povprečno izmetno hitrost 13,14 m/s, povprečni izmetni kot 35 stopinj in povprečno izmetno višino 2,22 m. Povprečna dolžina meta je bila 18,61 m.

Iz predstavljenih podatkov lahko potrdimo korektnost rezultatov kinematične analize osnovnih parametrov izmeta, ki smo jih uporabili v tej magistrski nalogi, saj so vrednosti v sosledju ostalih raziskav iz tega področja (Slika 11). Pri pregledu vrednosti posameznih tekmovalcev na omenjenih tekmovanjih (Slika 10) lahko opazimo določena neskladja v vrednostih kinematičnih parametrov izmeta, kar pa je verjetno posledica načina določanja le-teh. Predvsem končna izmetna hitrost krogle ni natančneje definirana v raziskavah, ali se ugotavlja kot kotna hitrost zapestja v trenutku pričetka iztegovanja prstov na roki, ali kot kotna hitrost zapestnega sklepa v trenutku, ko krogla zapusti roko, ali morebiti kako drugače. Vseeno nam povprečje vrednosti številnih raziskav nudi zadostno trdnost primerjave in analize podatkov.



Slika 10: Vrednosti kinematičnih parametrov izmeta (izmetna hitrost, izmetni kot, izmetna višina) za mete podobnih dolžin iz različnih tekmovanj. **Legenda:** DP – državno prvenstvo, SP – svetovno prvenstvo, EZP – zimsko evropsko prvenstvo, OI – olimpijske igre.

Opazimo pa lahko sovpliv mehanskih zakonitosti meta (izmetne hitrosti, izmetne višine in izmetnega kota) na končni rezultat, saj imajo finalisti svetovnega prvenstva v Osaki 2007 ob daljšem povprečnem metu nižjo izmetno hitrost in izmetni kot v primerjavi s finalisti svetovnega dvoranskega prvenstva v Valenciji 2008, a hkrati višjo izmetno višino (Slika 11). Odnos med naštetimi kinematičnimi parametri v izmetu so opredelili že Bartonietz (1994), Schmolinsky (200), Linthorne (2001) in Hubbard (2001), ki so pokazali soodvisnost vsakega posameznega parametra od preostalih dveh. Tako lahko atlet doseže enako daljavo kljub manjši izmetni hitrosti ob večjem izmetnem kotu ali izmetni višini. Ker pa je slednja pogojena s telesno višino in jo je zaradi tega zelo težko spreminjati oziroma vplivati nanjo s trenajnim procesom, kar je v svojem članku predstavil tudi Lanka (2000), sta izmetna višina in izmetna hitrost najpomembnejša parametra izmeta, ki kot mehanski zakonitosti vplivata na dolžino meta posameznega tekmovalca.



Slika 11: Vrednosti kinematičnih parametrov izmeta (izmetna hitrost, izmetni kot, izmetna višina) za povprečne dolžine metov v kinematičnih analizah večjih tekmovanj. **Legenda:** SP – svetovno prvenstvo, EZP – zimsko evropsko prvenstvo, OI – olimpijske igre.

Hubbard (2001), Linthorn (2001), Gutierrez-Davilla s sod. (2009) in Čerkez (2014) pa so prišli do ugotovitve, da izmetna hitrost pada z naraščanjem izmetnega kota in izmetne višine. Do podobnih ugotovitev smo prišli tudi mi, saj so rezultati deskriptivne statistike skupine elitnih in sub-elitnih pokazali, da je imela skupina sub-elitnih metalcev nižjo izmetno hitrost (12,76 m/s) ob višjem izmetnem kotu (40,00 stopinj) v primerjavi z elitno skupino metalcev (13,37 m/s, 36,88 stopinj). Z biomehničnega vidika tehnike metanja krogle lahko sklepamo, da je ena glavnih težav pri pospeševanju krogle v fazi izmeta doseganje optimalnega izmetnega kota. Ker je ta med 41 do 42 stopinj (Schmolinsky, 2000), iz naših podatkov kot tudi iz podatkov preostalih raziskav vidimo, da vrhunski metalci ne dosegajo optimalnega izmetnega kota. Dejstvo je, da ima vsak posameznik glede na lastne antropometrijske mere in tehnično izvedbo meta svoj optimalni izmetni kot. A ne glede nanj, mora biti v izmetni fazi pozornost usmerjena tudi na aktivno pospeševanje v vertikalni smeri, ne le horizontalni. To pa se doseže le ob hkratnem blokiranju gibanja oporne noge, torej noge, ki ni potisna.

V našem naboru spremenljivk smo izračunali tudi hitrost krogle v fazi obrata (VkroglaObrat), kjer smo dobili povprečno vrednost 3,68 m/s, pri elitni skupini 3,79 m/s ter sub-elitni skupini 3,51 m/s. Ti rezultati se ne skladajo z izsledki raziskave Harasina s sod. (2008), kjer so ugotovili razlike v hitrosti krogle v fazi obrata med boljšimi in slabšimi metalci krogle. In sicer so boljši tekmovalci v omenjeni raziskavi imeli hitrost 2,4 m/s, slabši tekmovalci pa 3,3 m/s. Naši rezultati prikazujejo ravno nasprotno, torej da so imeli boljši tekmovalci višjo hitrost krogle v fazi obrata v primerjavi s slabšimi. Neznačilne razlike med boljšimi in slabšimi tekmovalci je pokazala tudi Čerkez (2014), kjer je ugotovila negativno povezanost hitrosti

krogle v obratu s končno dolžino meta pri atletih, ki mečejo kroglo z rotacijsko tehniko. Potrdila pa je, da imajo boljši metalci nižjo hitrost krogle v trenutku začetka 2. dvooporne faze. Podobne vrednosti smo izračunali tudi v naši raziskavi, kjer smo ugotovili višjo izgubo hitrosti krogle v 2. enooporni fazi napram 1. enooporni in 1. brezoporni fazi (kinematični parameter $V_{kroglalzguba}$) pri elitni skupini metalcev. Večjo izgubo hitrosti v našem primeru in manjšo hitrost krogle na začetku 2. dvooporne faze v raziskavi Čerkez (2014) lahko pojasnimo s t. i. navijanjem metalca pred izmetno fazo, s čimer želi v največji meri izkoristiti ekscentrično-koncentrično gibanje. Nižja hitrost krogle v tej fazi in izračunana višja končna izmetna hitrost potrjujeta učinkovitost tega tehničnega elementa pri boljših metalcih, kar pomeni bolj učinkovit princip zaporednega vključevanja mišic v gibanje po proksimalno-distalnem zaporedju. Začetno gibanje generirajo mišice spodnjega segmenta telesa (noge), zaključno gibanje pa mišice zgornjega segmenta telesa (roka-dlan) (Čoh, 2005). Primarna moč se ustvarja v obliki sil reakcije na podlago kot posledica delovanja spodnjih ekstremitet. Za tehniko suvanja krogle je značilno, da se mišice vključujejo v gibanje tako, da se njihovi pripoji najprej oddaljujejo (ekscentrična mišična kontrakcija), nato pa se mišični pripoji približujejo (koncentrična mišična kontrakcija). Učinkovitost ekscentrično-koncentričnega delovanja mišic in s tem izkoristek elastične moči je odvisna od zaporednega in koordiniranega proksimalno-distalnega zaporedja mišičnih verig. In kinematični parameter v naši raziskavi, ki neposredno vpliva na manjšo hitrost krogle v začetku 2. dvooporne faze in s tem na možnost večjega izkoristka elastične moči, je kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze (β). Rezultati so pokazali, da imajo elitni metalci večji kot od sub-elitnih (45,12 stopinj proti 42,95 stopinj). Podobne vrednosti kota β je v svoji raziskavi dobil tudi Čoh (2005).

Rezultati deskriptivne statistike elitnih in sub-elitnih atletov so pokazali, da je povprečna vrednost doseženega rezultata na tekmovanju v elitni skupini večja v primerjavi s celotnim vzorcem (20,07 m proti 19,48 m), povprečna vrednost doseženega rezultata v sub-elitni skupini pa manjša (18,59 m proti 19,48 m). Prav tako smo ugotovili razlike v nekaterih drugih parametrih, ki določajo biološke in mehanske zakonitosti meta. In sicer v prejšnjih odstavkih omenjene izmetna hitrost, izmetni kot ter kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze, kot tudi pri parametru Višina izmeta (H), kjer so povprečne vrednosti za elitno skupino 2,19 m, za sub-elitno 2,11 m, in celoten vzorec 2,16 m, parametru Razlika med višino izmeta in telesno višino (H_{dif}), kjer so povprečne vrednosti za elitno skupino 0,30 m, sub-elitno 0,23 m, in celoten vzorec 0,27 m, ter parametru Dolžina poti aktivnega delovanja na orodje (L), kjer pa so elitni metalci dosegli povprečno vrednost 1,56 m, sub-elitni 1,43 m, povprečje celotnega vzorca pa je bilo 1,51 m. Te razlike so potrdile razvrstitev v dve kakovostno različni skupini, saj se le-ti razlikujeta v vseh omenjenih kinematičnih parametrih z izjemo izmetnega kota.

Nadalje podobno razlikovanje vidimo tudi pri nekaterih drugih parametrih, ki nakazujejo na boljše tehnično izvedbo, kot so Horizontalna izmetna hitrost (V_x), Seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi ($KvRK$), ter Razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi ($DramaDifDkolkIzmet$). Vrednosti vseh omenjenih parametrov so višje pri skupini elitnih metalcev v primerjavi s sub-elitnimi in nakazujejo na bolj učinkovito pospeševanje krogle v fazi maksimalnega napora do trenutka izmeta.

Manjše vrednosti pri elitni skupini metalcev v primerjavi s sub-elitnimi (poleg že naštetih V_y in α) pa smo ugotovili še pri kinematičnih parametrih Odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze ($Zdif$), Kotna hitrost v komolcu izmetne roke ob izmetu ($KvKM$), Kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu ($KvKN$), Povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta ($DkolkAvgOpora$) ter Razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta ($LkolkDifDkolkAvg$). Predvsem nižje vrednosti parametrov $KvKM$ in $KvKN$ so dober pokazatelj boljše časovne usklajenosti izvedbe meta pri elitnih metalcih, saj v trenutku izmeta ob višji hitrosti krogle pomenijo, da je atlet pravočasneje izvedel zaporedje gibov, ki se konča z delom iztegovalk prstov. Iztegovalke kolena in komolca se morajo v gib vključiti že prej, zato tudi ni pričakovati višjih vrednosti elitnih metalcev v primerjavi s sub-elitnimi v trenutku izpusta krogle.

6.2. ANALIZA RAZLIK V KINEMATIČNIH PARAMETRIH MED SKUPINAMA ELITNIH IN SUB-ELITNIH METALCEV KROGLE

S statistično metodo t test za nedovisne vzorce smo analizirali razlike v aritmetičnih sredinah kinematičnih parametrov med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev. Poudariti velja, da je bil naš vzorec merjencev majhen in homogen, kar je predstavljalo določeno težavo pri značilnem razlikovanju boljše in slabše skupine metalcev. Rezultati t testa za neodvisne vzorce so pokazali statistično značilne razlike v aritmetičnih skupinah med obema skupinama metalcev pri šestih kinematičnih parametrih. Če izzamemo dolžino meta, se boljši in slabši metalci razlikujejo v dveh kinematičnih parametrih samega izmeta (V_x in V_{xyz}), dveh kinematičnih parametrih faze maksimalnega napora (L in $KvRK$) ter v enem kinematičnem parametru faze obrata in prehitevanja orodja ($Zdif$).

Prvi parameter, ki značilno razlikuje obe skupini je dolžina meta na tekmovanju (D). Elitni metalci so statistično značilno ($p=0,001$) suvali kroglo dlje ($20,07\pm 0,41$) od sub-elitnih metalcev ($18,59\pm 0,55$). S tem smo še enkrat potrdili pravilno razvrstitev tekmovalcev v dve kakovostno različni skupini glede na dolžino meta. Naslednji parameter, ki je značilno razlikoval obe skupini, je Horizontalna izmetna hitrost (V_x). Skupina elitnih metalcev je imela

statistično značilno ($p=0,011$) višjo horizontalno izmetno hitrost ($10,68\pm 0,49$) od skupine sub-elitnih metalcev ($9,77\pm 0,29$). Prav tako je imela skupina elitnih metalcev značilno ($p=0,001$) višjo končno izmetno hitrost (V_{xyz}), in sicer $13,37\pm 0,12$ v primerjavi s sub-elitnimi metalci, ki so imeli vrednost $12,76\pm 0,23$. Torej so tudi naši rezultati potrdili velik vpliv končne izmetne hitrosti na dolžino meta v suvanju krogle, kot tudi ugotovitve nekaterih avtorjev (Zatsiorsky, 2000, Linthorne, 2001, Hubbard, 2001), da se z večanjem končne izmetne hitrosti zmanjšuje izmetni kot, saj ima skupina elitnih metalcev nižje vrednosti izmetnega kota, ki so blizu statistične značilnosti ($p=0,090$). Zaradi soodvisnosti V_{xyz} in α je posledično nižja vertikalna izmetna hitrost (V_y) pri elitni skupini in značilno višja horizontalna izmetna hitrost.

Med parametri, ki niso izključno vezani na finalno izmetno akcijo, pa se skupini statistično značilno ($p=0,012$) razlikujeta v dolžini poti aktivnega delovanja na orodje (L). In sicer so elitni metalci ($1,56\pm 0,06$) značilno dlje delovali na orodje kot sub-elitni tekmovalci ($1,43\pm 0,07$). Ker je ta parameter ena od osnovnih bioloških zakonitosti, ki določajo uspešnost v metih, lahko potrdimo, da na našem vzorcu značilno ločuje boljše od slabših tekmovalcev in kaže na boljšo tehnično izvedbo meta. Prav tako se skupini značilno razlikujeta v kotni hitrosti med kolčno in ramensko osjo od začetka 2. dvooporne faze do izmeta ($KvRK$), kjer so elitni metalci ($484\pm 88,87$) dosegli statistično značilno višje hitrosti od sub-elitnih ($323\pm 62,00$). Parameter $KvRK$ predstavlja moment rotacije oziroma hitrost gibanja metalca v fazi maksimalnega napora. S tem pa posledično vpliva na hitrost krogle V_{xyz} , ki pa je značilno različna pri obeh skupinah metalcev ($p=0,001$). Zato verjetno rezultat, da parameter $KvRK$ značilno ločuje obe kakovostno različni skupini ($p=0,014$).

Še zadnji parameter, kjer smo izračunali značilno razlikovanje med skupino elitnih in sub-elitnih tekmovalcev, pa je vezan na fazo obrata in prehitevanja orodja, in sicer je to postavitve širine stopal v začetku 2. dvooporne faze, ki se razlikuje od idealne postavitve ($Zdif$). In sicer so elitni metalci ($4,33\pm 3,61$) statistično značilno ($p=0,006$) postavljali stopala v širino, ki je bližja idealni postavitvi (ta je definirana kot razdalja med palcem potisne noge in sredino pete oporne noge, kar pri metalcih višine 1,90 m pomeni 20 cm), kot pa sub-elitni atleti ($16,50\pm 6,86$). Dejstvo je, da preširoka postavitve stopal pomeni odpiranje dela telesa, ki je na strani oporne noge. To vodi do manjšega blokiranja gibanja le-te, kar ima za posledico slabšo oporo, ki je nujna za aktivno dvigovanje in pospeševanje krogle v fazi maksimalnega napora. Nasprotno temu pa preozka postavitve onemogoča optimalno rotacijo dela telesa, ki je na strani potisne noge in izmetne roke. Po mnenju avtorja gre za enega pomembnih detajlov tehnike suvanja krogle z rotacijsko tehniko, saj je zaradi faze leta (1. brezoporne faze) v obratu doseganje pravilne postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze težje kot pri linearni tehniki.

Na podlagi ugotovljenih značilnih razlik med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev lahko **hipotezo H₀₃ sprejmemo, hipotezo H₀₄ pa zavržemo.**

Pri analizi rezultatov primerjave med obema kakovostno različnima skupinama metalcev velja omeniti še 4 kinematične parametre, katerih rezultati so bili zelo blizu statistične značilnosti ($0,050 < p < 0,060$). Prvi tak parameter je Razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti (VkroglaDIF), ki prikazuje velikost prirastka hitrosti krogle v fazi maksimalnega napora. V prejšnjem podpodglavju smo omenili tendenco večje izgube hitrosti krogle v fazi obrata pri boljših metalcih, v veliki meri kot posledica večjega zasuka spodnjega dela telesa napram zgornjemu (t. i. navijanje). Večji zasuk posledično omogoča daljšo pot aktivnega delovanja na kroglo kot tudi razvoj večje končne hitrosti. Parameter VkroglaDIF nam je pokazal ravno to večjo razliko od začetka 2. dvooporne faze do izmeta pri boljših metalcih. Podobne ugotovitve so interpretirali že nekateri drugi avtorji (Harasin s sod., 2008, Čerkez, 2014). Naslednja parametra, ki jih želim omeniti, sta Povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (DkolkAvgOpora) in Razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (LkolkDifDkolkAvg). Iz rezultatov lahko vidimo, da imajo boljši metalci nižje vrednosti kot slabši (1,65 in 0,01 proti 1,96 in 0,36), kar pomeni učinkovitejše blokiranje gibanja oporne noge. Vsako rotacijsko gibanje ima svojo os gibanja in v fazi maksimalnega napora metalec krogle le-to zagotovi z blokom oporne noge, s čimer omogoči zgornjemu delu telesa na strani izmetne roke, da se odvrta v fazi izmeta z največjo možno inercijo, potisni nogi pa omogoči delovanje v smeri naprej in, še pomembneje, v smeri navzgor. Zato imajo boljši metalci nižje hitrosti desnega kolka kot tudi manjšo razliko v hitrosti med levim in desnim bokom. Ob slabšem bloku oporne noge se zgodi, da levi spodnji del telesa ne predstavlja opore in pride do popuščanja tega segmenta, kar lahko ugotavljamo preko višjih hitrosti kolkov v fazi maksimalnega napora kot tudi manjših hitrosti in kotnih hitrosti različnih segmentov zgornje polovice telesa. V povezavi s tem naj omenim še zadnji parameter, Razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi (DramaDifDkolkIzmet). Pri boljših metalcih je opaziti večjo razliko med najvišjo hitrostjo kolka potisne noge in najvišjo hitrostjo ramenskega sklepa izmetne roke v sklepnem delu izmeta. Višji rezultat zopet izvira iz dobre tehnične izvedbe meta oziroma boljše opore leve noge, ki omogoči višjo hitrost rotiranja zgornjega dela telesa. Nižje hitrosti kolkov v fazi maksimalnega napora do samega izmeta pa potrjujejo še en izjemno pomemben tehnični vidik pri rotacijski tehniki suvanja krogle. Če spodnji del telesa v fazi obrata in prehitevanja orodja omogoča razvoj hitrosti metalca in krogle skozi rotacijsko gibanje, kot tudi večji zasuk telesa, ki vpliva na daljše delovanje na kroglo, spodnje okončine v fazi maksimalnega napora primarno služijo potiskanju krogle v smeri naprej in navzgor, ne pa nadaljevanju rotacije. S tem se ta tehnični vidik zelo približa linearni tehniki, kar mnogi trenerji v praksi ne sprejemajo oziroma nanj niso pozorni. Da vrhunski metalci krogle z rotacijsko tehniko še bolj podprejo blokiranje gibanja oporne strani

telesa, v zadnji fazi izmeta blokirajo tudi zgornji del na strani oporne noge. Pri ugotavljanju hitrosti roke na oporni strani telesa je Harasin s sod. (2010) ugotovil, da ni razlik med boljšimi in slabšimi metalci krogle, kar potrjuje zgoraj napisano trditev.

6.3. POVEZANOST KINEMATIČNIH PARAMETROV S KONČNO DOLŽINO META

Za ugotavljanje povezanosti kinematičnih parametrov s končno dolžino meta smo uporabili Pearsonov koeficient korelacije. S končnim rezultatom je statistično značilno koreliralo 9 kinematičnih parametrov, med katerimi so 4 iz faze izmeta (V_{xyz} , V_x , H , $DramaDifDkolkIzmet$), 4 iz faze maksimalnega napora ($VkrogladIF$, $KvRK$, $DkolkAvgOpora$, $LkolkDifDkolkAvg$), eden pa iz faze obrata in prehitevanja orodja ($Zdif$). Izmed vseh smo najvišjo povezanost izračunali za parameter Končna izmetna hitrost (V_{xyz}), kjer je bila vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta 0,902, ki je bil statistično značilen na nivoju 1 % tveganja ($p=0,000$). To sovпада z mnogimi drugimi raziskavami, ki so prav tako potrdile visoko povezanost končne izmetne hitrosti z dolžino meta (Linthorne, 2001, Byun, 2008, Gutierrez-Davila s sod., 2009, Schaa, 2010, Oh, 2011, Čerkez, 2014). Za razliko od omenjenih raziskav pa nismo potrdili značilne povezanosti izmetnega kota s končnim uspehom, saj je bila korelacija statistično neznačilna ($p=0,288$). Značilno korelacijo smo izračunali le za končno izmetno hitrost z izmetnim kotom ($R=-0,692$, $p=0,027$). Podobno kot Linthorne (2001), Hubbard (2001) in Gutierrez-Davila s sod. (2009) pa smo izračunali povezanost izmetnega kota s končno dolžino meta in končno izmetno hitrost v negativni smeri, torej da je pri daljših metih in višjih končnih hitrostih krogle izmetni kot vrhunskih metalcev nižji.

Visoko povezanost s končno dolžino meta smo ugotovili tudi za parameter $VkrogladIF$ ($R=0,777$, $p=0,008$), ki predstavlja prirastek hitrosti od začetka 2. dvooporne faze do trenutka izmeta krogle. Največji razvoj hitrosti krogle atlet opravi ravno v tej fazi, za kar pa mora ustrezno izvesti gibanja v predhodnih fazah meta. Kot smo že omenili, opaziti je tendenco, da boljši metalci krogle izgubijo v fazi prehitevanja orodja več hitrosti kot slabši (Harasin s sod., 2008, Čerkez, 2014), s tem pa v nadaljnji fazi maksimalnega napora napravijo večji prirastek, kar smo pokazali v tej nalogi. Večja izguba hitrosti krogle v fazi prehitevanja orodja gre predvsem na račun prehitevanja spodnjega dela telesa pred zgornjim, kar smo tudi izračunali – korelacija med β in $Vkroglalzguba$ je bila statistično značilna na nivoju 5 % tveganja ($R=0,657$). Nismo pa pokazali značilne povezanosti med povprečno hitrostjo krogle v fazi maksimalnega napora ($VkrogladOpora$) in končno dolžino meta, kar je moč zaslediti pri nekaterih avtorjih (Čerkez, 2014).

Značilno povezanost s končno dolžino meta smo izračunali tudi za izmetno višino (H). Le-to uvrščamo med osnovne mehanske zakonitosti meta, ki določajo dolžino (poševnega) meta. Po trditvah nekaterih avtorjev (Linthorne, 2001, Lanka, 2000) na višino izmeta metalca s

trenažnim procesom ne moremo bistveno vplivati, saj je odvisna predvsem od določenih antropometrijskih mer, v največji meri telesne višine. Kljub temu, da je večina vrhunskih metalcev krogle nadpovprečno visokih, nekateri avtorji navajajo nizke telesne višine dobitnikov medalj na največjih tekmovanjih (Ariel, 2004, Byun, 2008, Schaa, 2010). Napisano velja za atlete, ki uporabljajo rotacijsko tehniko metanja, saj naj bi le ta bila veliko bolj primerna za nižje rastoče atlete kot linearna tehnika metanja (Byun, 2008). Vseeno naši rezultati nakazujejo, da je višja telesna višina zaželena tudi pri rotacijski tehniki, saj parameter H značilno korelira poleg že omenjene končne dolžine še z dolžino aktivnega delovanja na orodje (L), zelo blizu statistične značilnosti pa je tudi povezanost s parametrom VkroglaDIF.

Pričakovano smo značilno korelacijo s končno dolžino meta ugotovili tudi za horizontalno izmetno hitrost (V_x), saj je le-ta ena od komponent končne izmetne hitrosti (V_{xyz}), s katero tudi močno korelira ($R=0,888$, $p=0,001$). Pričakovana je tudi izračunana značilna korelacija parametra $KvRK$ s končno dolžino meta ($R=0,724$, $p=0,018$), saj se končna hitrost krogle razvije predvsem v fazi maksimalnega napora, kjer ključno vlogo odigra gibanje kolčnega in ramenskega sklepa. In večjo kotno hitrost v teh dveh sklepih atlet razvije, večji energijski potencial lahko prenese na kroglo. To potrjujeta tudi značilni korelaciji parametra $KvRK$ s končno izmetno hitrost (V_{xyz}) in horizontalno izmetno hitrost (V_x). Za doseganje večjih hitrosti pa je pomembna daljša pot aktivnega delovanja na kroglo, kar dokazuje značilna korelacija $KvRK$ z L ($R=0,767$, $p=0,010$). Pomembna je še značilna povezanost $KvRK$ s parametrom $Zdif$, ki ima negativno vrednost ($R=-0,714$, $p=0,020$) in potrjuje že omenjeno tezo o pomembnosti pravilne postavitve širine stopal po končanem obratu na začetku faze maksimalnega napora. Odmik od idealne postavitve v smeri preširoke postavitve stopal ali pa preozke postavitve je tako povezan z manjšimi hitrostmi kolčnega in ramenskega sklepa, kar lahko vpliva na končni uspeh. Prav tako je odmik od idealne širine postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze ($Zdif$) značilno povezan s končno dolžino meta ($R=-0,648$, $p=0,043$). Smer korelacije je negativna, kar potrjuje tezo prejšnjega stavka o vplivu preširoke ali preozke postavitve stopal ($Zdif$), s čimer lahko negativno vplivamo na razvoj hitrosti telesnih segmentov (korelacija s $KvRK$), na končno hitrost krogle (korelacija s V_{xyz} , kjer je $R=-0,665$, $p=0,036$) ter potencialno tudi na dolžino aktivnega delovanja na kroglo L ($R=-0,582$, $p=0,078$). Pozitivna značilna korelacija pa je bila ugotovljena med $Zdif$ in $KvKN$ ($R=0,816$, $p=0,004$), kar zopet nakazuje na tehnično slabšo izvedbo meta v primeru preširoke postavitvi stopal, saj povezava kaže na večjo kotno hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu. V prejšnjem poglavju pa smo že pokazali, da imajo boljši metalci nižje vrednosti od slabših. Pri vsem tem bi avtor rad še enkrat poudaril pomembnost raziskovanja kinematičnih parametrov, ki niso vezani izključno na izmetno akcijo, tako v tej nalogi kot v vseh naslednjih raziskavah tega področja, saj določeni tehnični detajli dejansko dokazano vplivajo na izmetno akcijo, ki je bila že večkrat potrjena kot najpomembnejši del meta. Parameter $Zdif$ je

zagotovo eden izmed njih, in ob uporabi sodobnejših merilnih tehnologij, kot je tenziometrijska plošča, bi lahko v povezavi z njim dobili še veliko natančnejši vpogled in raziskovanje optimalne tehnične izvedbe meta v fazah pred izmetno akcijo.

S končno dolžino meta sta značilno korelirala tudi parametra Povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta ($D_{kolkAvgOpora}$), ter Razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta ($L_{kolkDifDkolkAvg}$). Kot smo omenili že v prejšnjem poglavju, je v fazi maksimalnega napora delo spodnjega dela telesa povezano predvsem z delovanjem v smeri naprej in navzgor, in ne z nadaljevanjem rotacije predhodnih faz meta. Vse z namenom zagotavljanja močne opore, preko katere lahko metalec razvije največjo silo v fazi maksimalnega napora oziroma izkoristi shranjeno elastično energijo ekscentrično-koncentričnega gibanja v predhodnih fazah meta. Da pa zagotovi pogoju dobre opore, mora metalec v fazi maksimalnega napora blokirati gibanje oporne noge («princip katapulte»), s čimer prepreči nadaljevanje rotacije spodnjega dela telesa. In negativna značilna korelacija parametra $D_{kolkAvgOpora}$ dokazuje v prejšnjih stavkih postavljeno trditev. Prav tako tudi značilna povezanost $L_{kolkDifDkolkAvg}$ s končno dolžino meta. Zato tudi ne preseneča negativna značilna korelacija $D_{kolkAvgOpora}$ s parametrom $V_{kroglDIF}$ ($R=-0,637$, $p=0,048$) in visoka neznačilna povezanost s končno izmetno hitrost V_{xyz} ($R=-0,601$, $p=0,066$). Da je blok oporne strani telesa pomemben za razvoj hitrosti zgornjega dela telesa pa nakazuje značilna korelacija parametra $D_{ramaDifDkolkAvg}$ s končno dolžino meta ($R=0,642$, $p=0,045$). Parameter $D_{ramaDifDkolkAvg}$ predstavlja razliko med najvišjo hitrostjo kolka potisne noge ter najvišjo hitrostjo ramenskega sklepa izmetne roke v sklepnem delu izmeta. Pri dobri tehnični izvedbi meta, kjer metalec v izmetni fazi dobro blokira oporno stran, s tem omogoči višjo hitrost rotiranja zgornjega dela telesa.

Na podlagi dobljenih rezultatov korelacijske analize lahko **hipotezo H_01 sprejmemo, hipotezo H_02 pa zavržemo.**

Menim, da je potrebno omeniti še visoko, na meji značilnosti, korelacijo parametra L s končno dolžino meta ($R=0,621$, $p=0,056$). V prejšnjem poglavju smo ugotovili, da je dolžina aktivnega delovanja na orodje (L) značilno ločila skupini boljših in slabših metalcev, Pearsonov korelacijski koeficient pa kaže na visoko povezanost s končnim rezultatom v suvanju krogle. Na podlagi teh ugotovitev kot tudi že omenjenih korelacij parametra L z nekaterimi drugimi parametri (K_{vRK} , Z_{dif} , H) avtor sklepa, da gre za enega ključnih kinematičnih dejavnikov, ki definirajo dobro tehnično izvedbo suvanja krogle z rotacijsko tehniko.

Za zaključek tega podpoglavja si pogledjmo še rezultate povezanosti kinematičnih parametrov s končnim rezultatom pri obeh kakovostno različnih skupinah metalcev. Izračuni elitne skupine niso pokazali statistično značilnih korelacij kinematičnih parametrov s končno dolžino meta. Še najbližje značilni povezanosti je bil parameter Višina izmeta (H), saj je bila vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta 0,776 ($p=0,069$). V skupini sub-elitnih metalcev pa smo pokazali statistično značilno povezanost s končnim rezultatom za parametra Končna izmetna hitrost (V_{xyz}) in Horizontalna izmetna hitrost (V_x). Povezanost prvega s končnim uspehom je značilna na nivoju 1 % tveganja ($R=0,995$, $p=0,005$), povezanost drugega pa na nivoju 5 % tveganja ($R=0,952$, $p=0,048$). Visoko neznačilno povezanost smo ugotovili še za parameter Dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo (L), kjer je vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta znašala $-0,929$ ($p=0,071$).

6.4. VPLIV IZBRANIH KINEMATIČNIH PARAMETROV NA TEKMOVALNO USPEŠNOST V SUVANJU KROGLE Z ROTACIJSKO TEHNIKO

V dosedanjih raziskavah s področja meta krogle je bilo malo narejenih le malo raziskav, ki bi ugotovljale vpliv kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost v suvanju krogle. Schaa (2010) je v svoji raziskavi na finalistih svetovnega prvenstva v Berlinu leta 2009 ($n=8$) uporabil multivariatno regresijsko analizo z dvema prediktorjema, končno izmetno hitrost in izmetni kot. Rezultati regresijske analize so pokazali značilen vpliv prediktorjev na končno dolžino meta, pojasnjene pa je bilo 82 % variance kriterijev. Regresijska enačba, ki jo je izračunal, je bila:

$$\text{dolžina meta} = 2,158 * \text{izmetna hitrost} + 0,174 * \text{izmetni kot} - 14,842$$

Čerkez (2014) je v svoji doktorski disertaciji izračunala vpliv kinematičnih parametrov na rezultatsko uspešnost v suvanju krogle z rotacijsko tehniko na večjem vzorcu atletov ($n=12$), ki so tekmovali na zimskem evropskem prvenstvu v metih v Baru leta 2012 (Tabela 45). Z multiplo regresijo je pojasnila 94 % rezultatske uspešnosti, model spremenljivk pa je bil statistično značilen ($p=0,001$). Le-ta je vseboval kinematične parametre: izmetna hitrost krogle, izmetni kot, izmetna višina, povprečna hitrost krogle v izmetni fazi, hitrost krogle na začetku izmeta in višina krogle na začetku izmeta. Značilen vpliv ($p \leq 0,05$) je bil izračunan za povprečno hitrost krogle v izmetni fazi, hitrost krogle v izmetu ter izmetni kot.

KINEMATIČNA SPREMENJIVKA	BETA	P
PRBRZKFIZB	0,81	0,01
BRZKPOCIZB	-0,27	0,06
KUTIZB	0,26	0,04
BRZKIZB	0,19	0,05

VISKPOCIZB	0,19	0,09
VISIZB	0,09	0,25
R	0,97	
R KVADRAT	0,94	
P	0,01	

Tabela 45: Vpliva kinematičnih parametrov na rezultatsko uspešnost v suvanju krogle z rotacijsko tehniko (Čerkez, 2014), kjer je: BETA – standardiziran regresijski koeficient, R – koeficient multiple korelacije, R KVADRAT – koeficient determinacije, P – statistična značilnost na 5 % nivoju tveganja. **Legenda:** PRBRZKIFIZB – povprečna hitrost krogle v izmetni fazi, BRZKPOCIZB – hitrost krogle na začetku izmetne faze, KUTIZB – izmetni kot, BRZKIZB – hitrost krogle v trenutku izmeta, VISKPOCIZB – višina krogle na začetku izmeta, VISIZB – višina izmeta.

V doktorski disertaciji je Čerkez (2014) izračunala tudi regresijski model (metoda ForwardStepwise) za validacijski vzorec, kjer je bilo 12 naključno izbranih metalcev, ki suvajo kroglo ali z linearno ali z rotacijsko tehniko. V regresijsko enačbo so bili vključeni parametri izmetni kot, izmetna hitrost ter izmetna višina (Tabela 46). Rezultati so pokazali visok odstotek pojasnjene variance (97 %), značilen vpliv ($p \leq 0,05$) na tekmovalno uspešnost pa je bil pokazan za vse vključene parametre. Izračunana regresijska enačba je bila:

$$\text{dolžina meta} = 2,12 \cdot \text{BRZKIZB} + 0,74 \cdot \text{KUTIZB} + 2,82 \cdot \text{VISIZB} - 41,17$$

	BETA	SE	B	P
KONSTANTA			-41,17	0,00
BRZKIZB	0,92	0,07	2,12	0,00
KUTIZB	0,54	0,06	0,74	0,00
VISIZB	0,18	0,07	2,82	0,03
R	0,98			
R KVADRAT	0,97			
P	0,01			

Tabela 46: Rezultati regresijskega modeliranja metalcev krogle (Čerkez, 2014) kjer je: BETA – standardiziran regresijski koeficient, SE – standardna napaka, B – nestandardiziran regresijski koeficient, P – statistična značilnost na nivoju 5 % tveganja, R – koeficient multiple korelacije, R KVADRAT – koeficient determinacije. **Legenda:** KUTIZB – izmetni kot, BRZKIZB – hitrost krogle v trenutku izmeta, VISIZB – višina izmeta.

Pri vseh naših izračunih vpliva kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost smo vključili celoten vzorec merjencev ($n=10$), medtem ko je bil izbor spremenljivk različno izbran. Predvsem manjši vzorec v naši raziskavi je predstavljal omejitveni dejavnik pri regresijskem modeliranju, zato smo izvedli več izračunov linearne regresije, kjer smo v model vključili kinematične parametre po posameznih fazah meta, parametre, ki so imeli najvišje vrednosti Pearsonovega korelacijskega koeficienta s končno dolžino meta, ter parametre, ki določajo osnovne mehanske zakonitosti meta.

V prvem izračunu smo vključili kinematične parametre, ki definirajo mehanske zakonitosti meta, in sicer končno izmetno hitrost (V_{xyz}), izmetni kot (α) ter izmetno višino (H). Z izbranim modelom spremenljivk smo pojasnili 94,6 % tekmovalne uspešnosti, model pa je bil statistično značilen ($p=0,000$). Izmed posameznih parametrov smo značilen vpliv izračunali samo za končno izmetno hitrost (V_{xyz}), medtem ko je izmetni kot bil na meji statistične značilnosti ($p=0,051$). V primerjavi s Čerkez (2014), ki je uporabila enak nabor spremenljivk, smo dobili podobne rezultate pri pojasnjeni varianci, vpliva vseh treh izbranih parametrov na končno dolžino meta pa nismo uspeli pokazati. Vrednosti regresijske enačbe so v našem primeru veliko bližje vrednostim, ki jih je dobil Schaa (2010).

Na podlagi zgornjih ugotovitev lahko **hipotezo H_05 sprejmemo**.

Avtor je v tej magistrski nalogi z linearno regresijo izračunal več modelov, kjer je ugotavljal vpliv izbranih kinematičnih parametrov določenih faz meta na tekmovalno uspešnost. S kinematičnimi parametri faze obrata in prehitevanja orodja nismo uspeli pojasniti značilen delež variance kot tudi ne značilnega vpliva katerega od parametrov na končno dolžino meta.

Smo pa z izbranimi kinematičnimi parametri faze maksimalnega napora uspeli pojasniti 96,1 % tekmovalne uspešnosti, model spremenljivk pa je bil statistično značilen ($p=0,001$). Značilen vpliv na končni rezultat smo izračunali pri 3 od 4 parametrov, in sicer za $V_{kroglDIF}$, $KvRK$ in $LkolkDifDkolkAvg$. Zelo podoben in statistično značilen odstotek pojasnjene variance smo izračunali tudi z modelom parametrov faze izmeta ($R_{KVADRAT} = 0,964$, $p=0,001$). Značilen vpliv posameznih kinematičnih parametrov modela s končnim rezultatom je bil pokazan le za končno izmetno hitrost (V_{xyz}).

Zadnji izračun je vseboval model kinematičnih spremenljivk, ki niso bile zajete v prvem modelu (V_{xyz} , α , H), imele so najvišje korelacije s končno dolžino meta in niso kolinearne ($V_{kroglDIF}$, $Zdif$, $KvRK$, $DkolkOpora$). Z izbranim modelom spremenljivk smo uspeli pojasniti 96,7 % tekmovalne uspešnosti, značilen vpliv na dolžino meta pa smo izračunali za parametra $V_{kroglDIF}$ in $KvRK$.

Končna izmetna hitrost (V_{xyz}) je bil edini parameter, za katerega smo v vseh izračunih, kjer je nastopal, pokazali statistično značilen vpliv na končno dolžino meta. Enako so pokazali tudi nekateri avtorji v svojih raziskavah (Byun, 2008, Gutierrez-Davila, 2009, Schaa, 2010, Čerkez, 2014). Za razliko od teh študij pa nismo uspeli pokazati značilen vpliv izmetnega kota in izmetne višine na končni rezultat. Smo pa ugotovili značilen vpliv nekaterih drugih parametrov, kot so $KvRK$, $V_{kroglDIF}$ ter $LkolkDifDkolkAvg$.

7. SKLEP

V naši raziskavi smo ugotavljali povezanost in vpliv kinematičnih parametrov na uspešnost v suvanju krogle pri vrhunskih metalcih, ki uporabljajo rotacijsko tehniko metanja krogle. Posebno pozornost smo namenili vplivu kinematičnih dejavnikov, ki niso vezani le na izmetno akcijo, temveč tudi na predhodne faze meta. Vzorec merjencev v nalogi je obsegal 10 vrhunskih metalcev krogle z rotacijsko tehniko, ki so tekmovali na Zimskem evropskem prvenstvu v metih v Splitu leta 2008. Za potrebe nadaljnjih raziskav v nalogi smo izbrane atlete nadalje razvrstili še v skupino elitnih metalcev ($n=6$) in skupino sub-elitnih metalcev ($n=4$). Kriterij razdelitve je bil ovrednotenje rezultata po mednarodno sprejetih madžarskih tablicah, meja pa je bila postavljena na 1100 točk (19,65 m). V nalogi smo analizirali 22 kinematičnih parametrov, od katerih so štirje iz faze obrata in prehitevanja orodja, osem iz faze maksimalnega napora ter devet iz izmetne faze. Dolžina rezultata na tekmovanju je predstavljala neodvisno spremenljivko.

Rezultati deskriptivne statistike so potrdili elitnost našega vzorca merjencev (povprečna dolžina meta 19,48 m), saj so vrednosti kinematičnih parametrov izmeta (povprečna izmetna hitrost 13,13 m/s, povprečni izmetni kot 38 stopinj, povprečna izmetna višina 2,16 m) primerljive z do sedaj objavljenimi študijami najboljših metalcev krogle na svetu. Rezultati t testa za neodvisne vzorce so pokazali statistično značilne razlike v aritmetičnih sredinah med skupinama elitnih in sub-elitnih metalcev krogle pri šestih kinematičnih parametrih, in sicer v končni daljavi (D), horizontalni izmetni hitrosti (V_x), končni izmetni hitrosti (V_{xyz}), dolžini aktivnega delovanja na kroglo (L), v kotni hitrosti med kolčno in ramensko osjo od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (β), ter v odmiku od idealne postavitve širine stopal v začetku 2. dvooporne faze (Z_{dif}). Značilno razlikovanje v končnem rezultatu med dvema skupinama potrjuje našo delitev po kriteriju 1100 točk po madžarskih tablicah. Tako lahko sklepamo, da ta meja res deli elitne metalce od sub-elitnih. Poudariti velja, da je bil naš vzorec merjencev majhen in homogen, kar je predstavljajo določeno težavo pri značilnem razlikovanju boljše in slabše skupine metalcev. Vseeno ostalih pet parametrov, ki so značilno ločili obe kakovostno različni skupini metalcev, sodi v vse faze meta, ne le v izmetno fazo kot v večini dosedaj objavljenih študijah, in potrjuje pomembnost predhodnih faz meta za tehnično korektno izvedbo meta. Še dodatno to tezo potrjujejo nekateri drugi kinematični parametri ($V_{krogl}aDIF$, $DkolkAvgOpora$, $LkolkDifDkolkAvg$, $DramaDifDkolkIzmet$), ki sicer niso statistično značilno razlikovali obe skupini, so pa bili blizu tega. V povezavi s tehnično izvedbo meta nakazujejo na pomembnost rotacije in njenega izkoristka, ki se izvrši preko bloka oporne noge. Nastala inercija se potem lahko učinkovito prenese na izmet same krogle, in s tem posledično na večjo hitrost ter doseženo daljavo.

Izračun Pearsonovega korelacijskega koeficienta je potrdil statistično značilno povezanost devetih kinematičnih parametrov s končnim uspehom, med katerimi so 4 iz faze izmeta

(V_{xyz} , V_x , H , $D_{krolkDif}$), 4. iz faze maksimalnega napora ($V_{kroglDIF}$, $KvRK$, $D_{krolkAvg}$), eden pa iz faze obrata in prehitevanja orodja (Z_{dif}). Izmed vseh smo najvišjo povezanost izračunali za parameter Končna izmetna hitrost (V_{xyz}), kjer je bila vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta 0,902, ki je bil statistično značilen na nivoju 1 % tveganja ($p=0,000$). To sovpada z mnogimi drugimi do sedaj že objavljenimi raziskavami. Omeniti velja še parameter Z_{dif} , ki je statistično značilno koreliral še z mnogimi drugimi kinematičnimi parametri ($KvRK$, $KvKN$, L , V_{xyz}), ne le s končno dolžino meta. Vse povezave so potrdile pomembnost predhodnih faz na končni uspeh, saj na primer nepravilna postavitev stopal v začetku 2. dvooporne faze tako negativno vpliva na omenjene parametre, ki so v povezavi s končno dolžino meta. Ob uporabi sodobnejših merilnih tehnologij, kot je na primer tenziometrijska plošča, bi lahko dobili še veliko natančnejši vpogled v samo izvedbo meta, s tem pa nadgradili raziskovanje optimalne tehnične izvedbe meta v fazah pred izmetno akcijo.

Izračunali smo tudi Pearsonove korelacijske koeficiente za obe kakovostno različni skupini metalcev. Izračuni elitne skupine niso pokazali statistično značilnih korelacij kinematičnih parametrov s končno dolžino meta. Še najbližje značilni povezanosti je bil parameter Višina izmeta (H), saj je bila vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta 0,776 ($p=0,069$). V skupini sub-elitnih metalcev pa smo pokazali statistično značilno povezanost s končnim rezultatom za parametra Končna izmetna hitrost (V_{xyz}) in Horizontalna izmetna hitrost (V_x). Visoko neznačilno povezanost smo ugotovili še za parameter Dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo (L), kjer je vrednost Pearsonovega korelacijskega koeficienta znašala -0,929 ($p=0,071$).

Za izračun vpliva kinematičnih parametrov na tekmovalno uspešnost v suvanju krogle z rotacijsko tehniko pri vrhunskih metalcih smo uporabili metodo linearne regresije (metoda Enter). Avtor je v tej magistrski nalogi z linearno regresijo izračunal več modelov, kjer je ugotavljal vpliv izbranih kinematičnih parametrov določenih faz meta na tekmovalno uspešnost. Pri vseh izračunih smo vključili celoten vzorec merjencev ($n=10$), medtem ko je bil izbor spremenljivk različno izbran, vendar število izbranih kinematičnih dejavnikov ni preseglo 5. Vse to zaradi majhnega vzorca, ki je predstavljal svojevrstno težavo pri regresijskem modeliranju. Za natančnejše modeliranje bi bilo potrebno izvesti meritve na večjem vzorcu, ki pa bi bil še vedno homogen.

V prvem modelu smo vključili kinematične parametre, ki definirajo mehanske zakonitosti meta (V_{xyz} , α , H). Z izbranim modelom spremenljivk smo pojasnili 94,6 % tekmovalne uspešnosti, model pa je bil statistično značilen ($p=0,000$). Izmed posameznih parametrov smo značilen vpliv izračunali samo za končno izmetno hitrost (V_{xyz}), medtem ko je izmetni kot α bil na meji statistične značilnosti ($p=0,051$). Drugi model je vseboval kinematične parametre faze maksimalnega napora. Z izbranimi spremenljivkami smo uspeli pojasniti 96,1

% tekmovalne uspešnosti, model spremenljivk pa je bil statistično značilen ($p=0,001$). Značilen vpliv na končni rezultat smo izračunali pri 3 od 4 parametrov, in sicer za $V_{kroglDIF}$, $KvRK$ in $L_{kolkDifDkolkAvg}$.

Zelo podoben in statistično značilen odstotek pojasnjene variance smo izračunali tudi z modelom parametrov faze izmeta ($R_{KVADRAT} = 0,964$, $p=0,001$). Značilen vpliv posameznih kinematičnih parametrov modela s končnim rezultatom je bil pokazan le za končno izmetno hitrost (V_{xyz}). Tudi z naslednjim modelom, ki je vseboval kinematične spremenljivke, ki niso bile zajete v prvem modelu (V_{xyz} , α , H) in so imele najvišje korelacije s končno dolžino meta ter niso kolinearne ($V_{kroglDIF}$, Z_{dif} , $KvRK$, $D_{kolkOpora}$), smo uspeli pojasniti 96,7 % tekmovalne uspešnosti. Značilen vpliv na dolžino meta smo izračunali za parametra $V_{kroglDIF}$ in $KvRK$.

Z modelom, ki je vseboval kinematične parametre faze obrata in prehitevanja orodja (Z_{dif} , $V_{kroglObrat}$, β), pa nismo uspeli pojasniti značilen delež variance ($R_{KVADRAT} = 0,451$), kot tudi ne značilnega vpliva katerega od parametrov na končno dolžino meta.

Končna izmetna hitrost (V_{xyz}) je bil edini parameter, za katerega smo v vseh izračunih, kjer je nastopal, pokazali statistično značilen vpliv na končno dolžino meta. Enako so pokazali tudi nekateri avtorji v svojih raziskavah (Byun, 2008, Gutierrez-Davila, 2009, Schaa, 2010, Čerkez, 2014). Za razliko od teh študij pa nismo uspeli pokazati značilen vpliv izmetnega kota in izmetne višine na končni rezultat. Smo pa ugotovili značilen vpliv nekaterih drugih parametrov, kot so $KvRK$, $V_{kroglDIF}$ in $L_{kolkDifDkolkAvg}$. Ob upoštevanju, da smo pokazali značilne korelacije določenih drugih parametrov, ki niso vezani izključno na izmetno akcijo, s končno dolžino meta, ter na podlagi rezultatov t testa, lahko potrdimo, da smo z našo nalogo pokazali pomembnost in vpliv kinematičnih dejavnikov v predhodnih fazah meta na končni uspeh.

8. VIRI

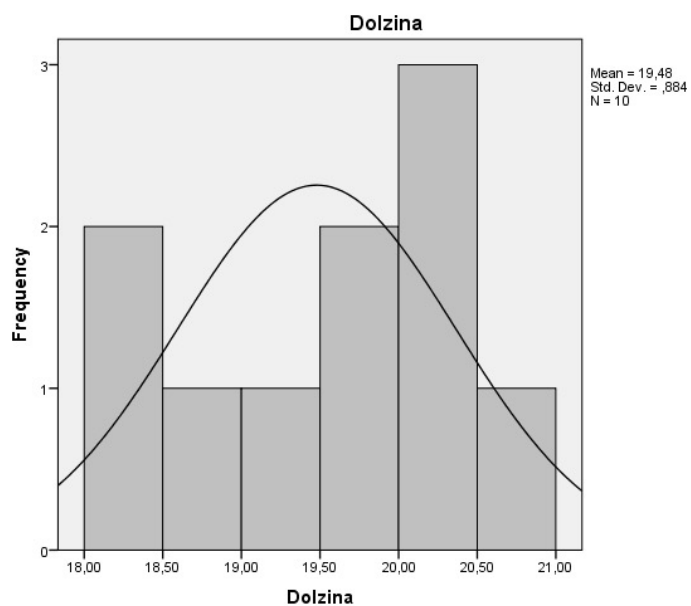
1. Aleksić-Veljković, M. Puletić, A. Raković, R. Stanković, S. Bubanj, D. Stanković (2011). Comparative kinematic analysis of the best Serbian shot put throwers. *Physical Education and Sport* Vol. 9, No 4, Special Issue, 2011, 359 – 364.
2. Ariel, G. (2004). *Biomechanical Analysis of the Shot-Put Event at the 2004 Athens Olympic Games*. Pridobljeno 10.11.2008, s <http://www.arielnet.com/start/apas/studies/shotfinal.pdf>
3. Bartonietz, K.E. (1994). Rotational Shot Put Technique: Biomechanic findings and recommendations for training. *Track and Field Quarterly Review*, 93 (3), 18-29.
4. Bradeško, B. (2007). *Primerjalna analiza med rotacijsko in linearno tehniko suvanja krogle*. Diplomaska naloga, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
5. Butler, M. (Ur.). (2007). *IAAF Statistics Handbook 2007*. Monaco Cedex: IAAF Media & Public Relations Department.
6. Byun, K.O., Fujii, H., Murakami, M., Endo, T. Idr. (2008). A biomechanical analysis of the men's shot put at the 2007 World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 23(2), 53-62.
7. Čerkez, I. (2014). *Utjecaj kinematičkih parametara na uspješnost bacanja kugle vrhunskih europskih seniora i mlađih seniora s aspekta linearne i rotacijske tehnike*. Doktorska disertacija, Split: Sveučilište u Splitu, Kineziološki fakultet.
8. Čoh, M. (2002). *Application of biomechanics in track and field*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za kineziologijo.
9. Čoh, M. (1992). *Atletika – tehnika in metodika nekaterih disciplin*. Ljubljana: Fakulteta za šport.
10. Čoh, M., Jošt, B. (2005) A kinematic model of rotational shot-put . *ISBS, Beijing, China*, 357-360.
11. Čoh, M., Supej, M. (2007). Vpliv telesne konstitucije na rotacijsko tehniko suvanja krogle. *Atletika*, 50-51, 20-23.
12. Čoh, M., Štuhec, S. (2005). 3-D kinematic analysis of the rotational shot put technique. *New Studies in Athletics*, 20 (3), 57-66.
13. Čoh, M., Štuhec, S., Supej, M. (2008). Comparative biomechanical analysis of the rotational shot put technique. *Collegium antropologicum*, ISSN 0350-6134, 2008, vol. 32, no. 1, str. 315-321, ilustr., tabele. [COBISS.SI-ID 3233713]

14. Emberšič, D.S. (2000). *Povezanost morfoloških in kinematičnih spremenljivk z uspehom v metu kopja pri vhunskih mladih tekmovalcih in tekmovalkah*. Magistrska naloga. Fakulteta za šport, Ljubljana.
15. Emberšič, D.S. (2003). *Atletika – meti: tehnika in metodika*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
16. Goss-Sampson, M. & Champan, M. (2003). *Temporal and kinematic analysis of rotational shot put technique*. *Journal of Sport Sciences*, 21, 237-238.
17. Gutierrez-Davilla, M., Rojas, J., Campos, J., Gomez, J., in Encarnacion A. (2009). Biomechanical analysis of the shot put at the 12th IAAF Indoor Championships. *New Studies in Athletics*, 24 (3), 45-61.
18. Harasin, D., Milanović, D., Milinović, I. , (2008). Razlike u vršnoj brzini kugle u okretu između boljih i lošijih bacača // Zbornik radova 17. ljetne škole kineziologa RH "Stanje i perspektive razvoja u područjima edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije" / Neljak, Boris, editor(s). Zagreb : Hrvatski kineziološki savez, 125-129.
19. Harasin, D., D. Milanović, I. Milanović (2008). Razlike u kutnim pomacima donjih ekstremiteta kod boljih i lošijih bacača kugle, . V: Zbornik radova „18. ljetna škola kineziologa Republike Hrvatske“, Poreč (144-148).
20. Harasin, D., Milanović, D., Čoh, M. (2010). 3D kinematics of the swing arm in the second double-support phase of rotational shot put – elite vs sub-elite athletes. *Kinesiology*, 42(2), 169-174.
21. Hubbard, M., De Mestre. N. J., Scott. J. (2001). Dependence of release variables in the shot put. *Journal of Biomechanics*, 34, 449–456.
22. Judge, L. (2014). Predictors of Personal Best Performance in the Glide and Spin Shot Put for U.S. Collegiate Throwers. *Track Coach*, 209, 6674-6681.
23. Klemen, U. (2012). *Osebnostne značilnosti atletskih trenerjev*. Diplomaska naloga, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
24. Kovač, M. (Ur.). (1995). *Šport v Republiki Sloveniji – dileme in perspektive*. Ljubljana: Ministrstvo za šolstvo in šport.
25. Kristan, S. (2000). *Športoslovje na slovenskem*. Ljubljana: Fakulteta za šport ter Inštitut za šport.
26. Lanka, J. (2000). Shot Putting. V: *Biomechanics in Sport* (ed.Vladimir Zatsiorsky), Blackwell Science Ltd, 435-457.

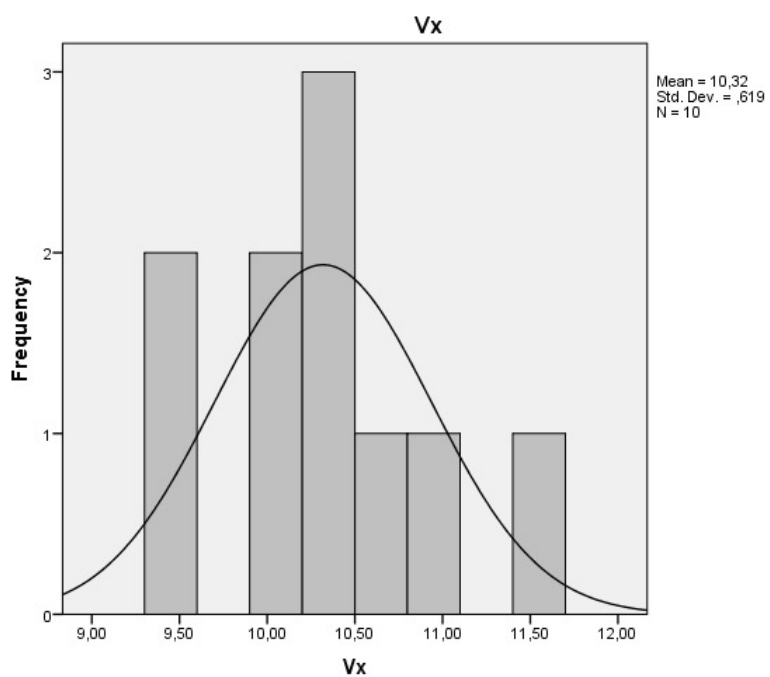
27. Lenz, A., Rappl, F. (2010). The optimal angle of Release in Shot Put. Pridobljeno 28.01.2016 iz www.arxiv.org.
28. Linthorne, N.P. (2001). *Optimum release angle in the shot put*. *Journal of Sports Sciences*, 19, 359-372.
29. Oh, C., Shin, E., Choi, S., Jeong, I., Bae, J., Lee, J., in Park, S. (2011). Kinematic analysis of elite athletes in men's shot put at World Championships, Daegu 2011. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21 (5), 631-638.
30. Ogorevc, M. (2000). *Atletski meti*. Brežice: Samozaložba.
31. Peng, H., Peng, H., in Huang, C. (2008). Ground reaction force of rotational shot put – case study. *26 International Conference on Biomechanics in Sports*. Seoul, Korea.
32. Račić, K. (1994). *Atletska bacanja*. Zagreb: Zagrebački športski savez, Zagrebački atletski savez.
33. Schaa, W., (2010) Biomechanical Analysis of the Shot Put at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 25 (3/4), 9-21.
34. Scmolinsky, G. (2000). *The East German Textbook of Athletics*. Toronto: Sports books publisher.
35. Spiriev, B. (2011). *IAAF scoring tables of athletics*. Monaco: Multiprint.
36. Stepanek, J. (1989). Comparison of the Glide and the Rotation Technique in the Shot Put. In: Tsarouchas, L. (ed.). *Biomechanics in Sport V: Proceedings of the Vth International Symposium of the Society of Biomechanics in Sport*, Hellenic Sports Research Institute, Olympic Sports Centre of Athens, Greece, 135-146.
37. Sugumar, C. (2014). A Biomechanical Analysis of The Shot Put Performance. *Global Journal for Research Analysis*, 5(3), 118-119.
38. Supej, M., Čoh, M. (2008). Using the direction of the shoulder's rotation angle as an abscissa axis in comparative shot put analysis = Uporaba smernega kota ramenske osi za absciso pri primerjalnih analizah meta krogle. *Kinesiologia Slovenica*, ISSN 1318-2269. [Print ed.], 2008, vol. 14, no. 3, str. 5-14, ilustr., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 3543473]
39. Štuhec, S., Vertič, R. (2008). *Kinematična analiza tehnike suvanja krogle – Miro Vodovnik, Ljubljana*. Interno gradivo. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
40. Štuhec, S., Vertič, R. (2008). *Kinematična analiza tehnike suvanja krogle – Miro Vodovnik, Split*. Interno gradivo. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.

41. Tidow, G. (1990). Model technique analysis sheet for the throwing events – The Shot Put. *New Studies in Athletics*, 1(1), 44-60.
42. Tschiene, P. (1988). The throwing events: recent trends in technique and training. *New Studies in Athletics*, 7-20.
43. Vodeb, R. (2005). *Interpretacija športa*. Trbovlje: Fit.
44. Zatsiorsky, V.M. (2000). *Biomechanics in sport*. International Olympic Committee.

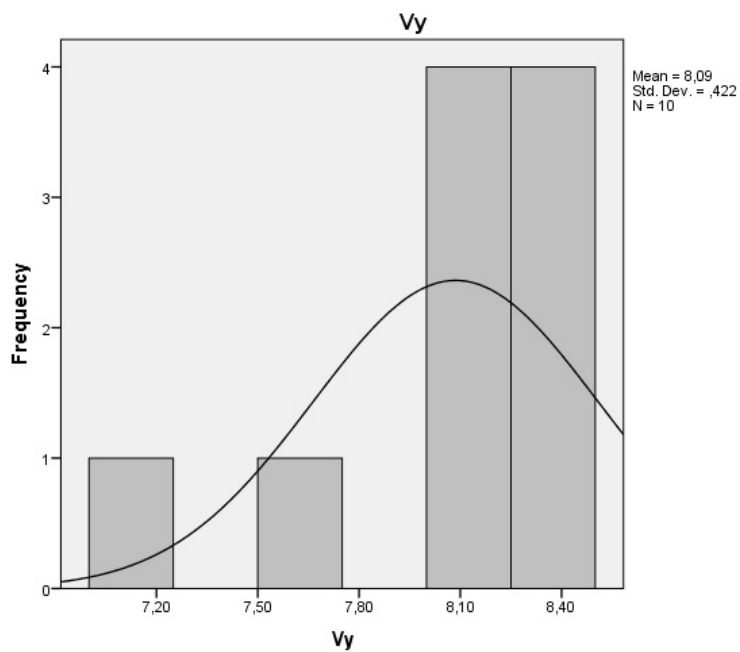
9. PRILOGE



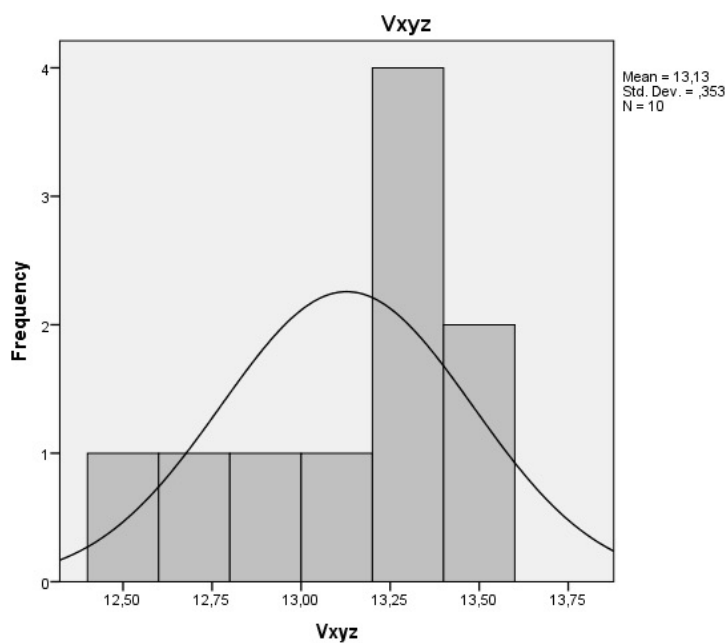
Slika 12: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Dolžina najdaljšega meta (D).



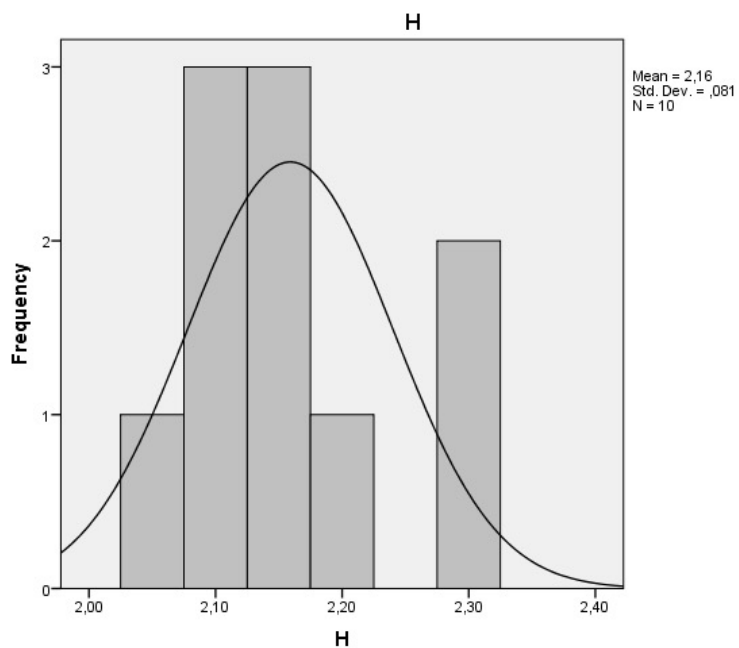
Slika 13: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Horizontalna izmetna hitrost (V_x).



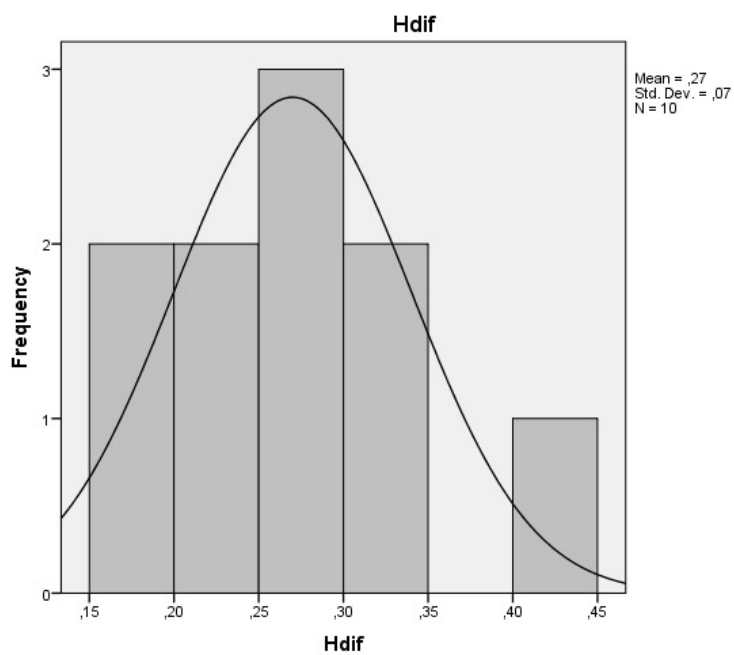
Slika 14: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Vertikalna izmetna hitrost (V_y).



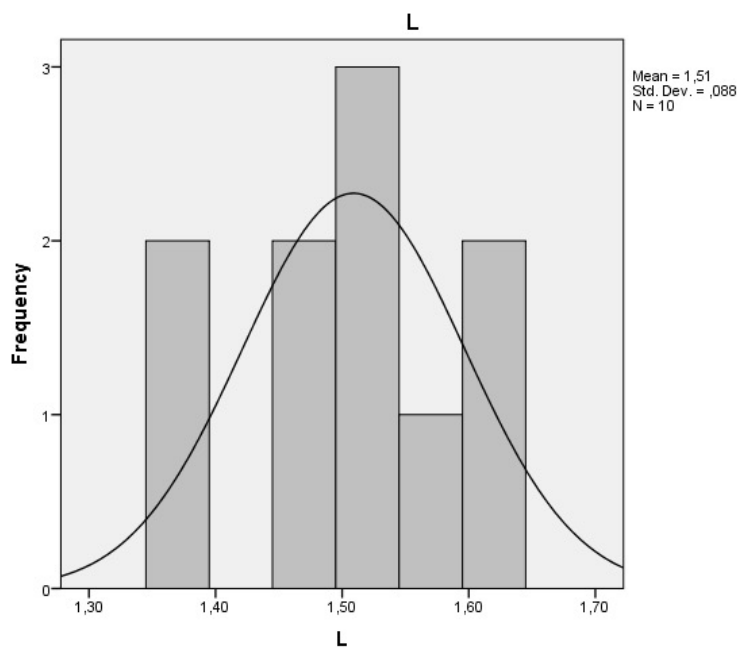
Slika 15: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Absolutna izmetna hitrost (V_{xyz}).



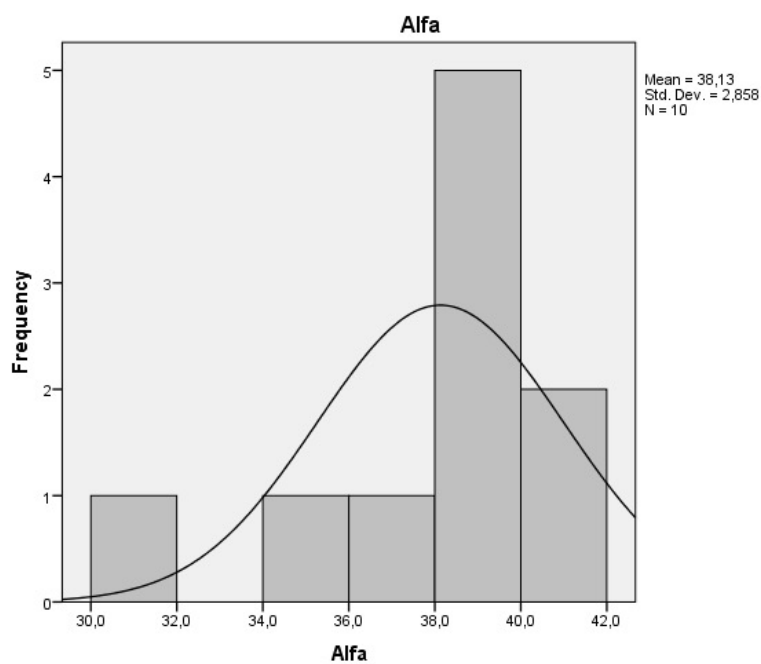
Slika 16: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Višina izmeta (H).



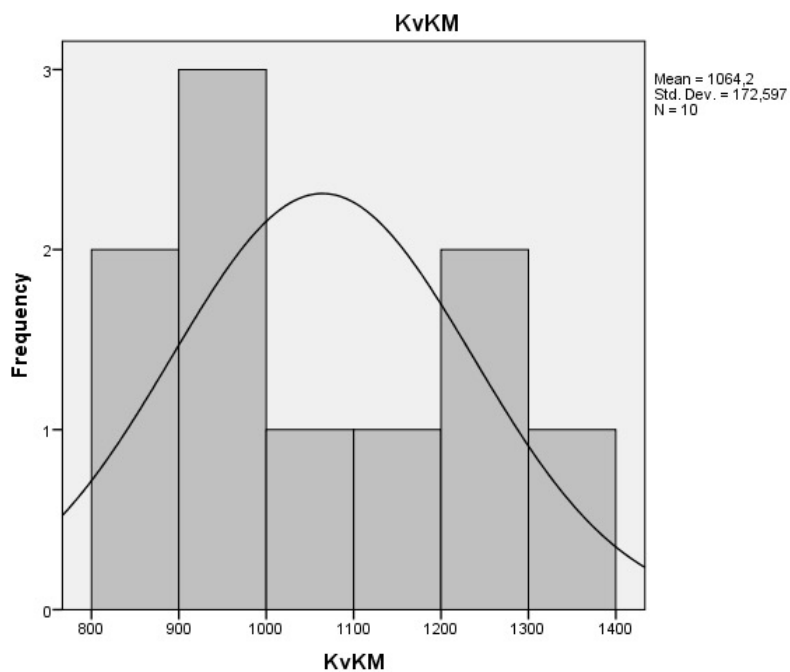
Slika 17: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Razlika med višino izmeta in telesno višino (Hdif).



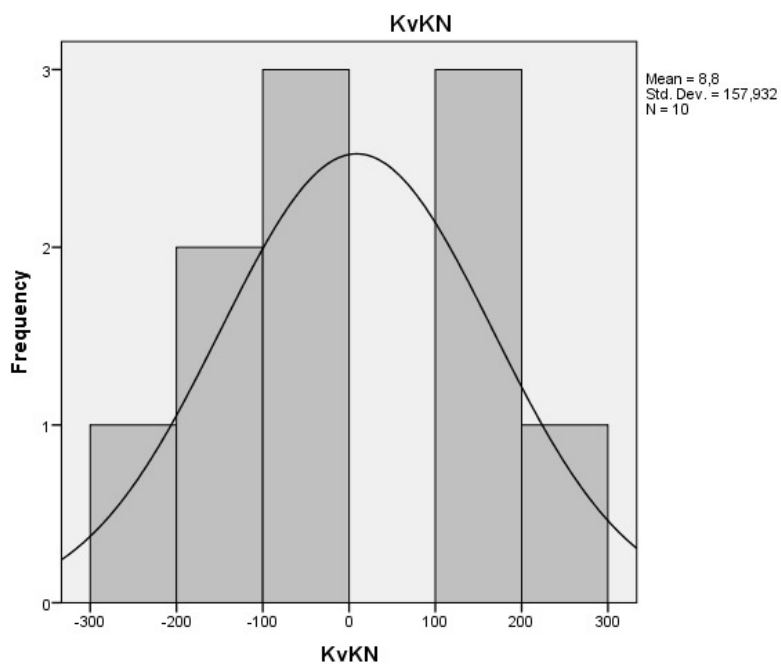
Slika 18: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Dolžina poti aktivnega delovanja na kroglo v izmetu (L).



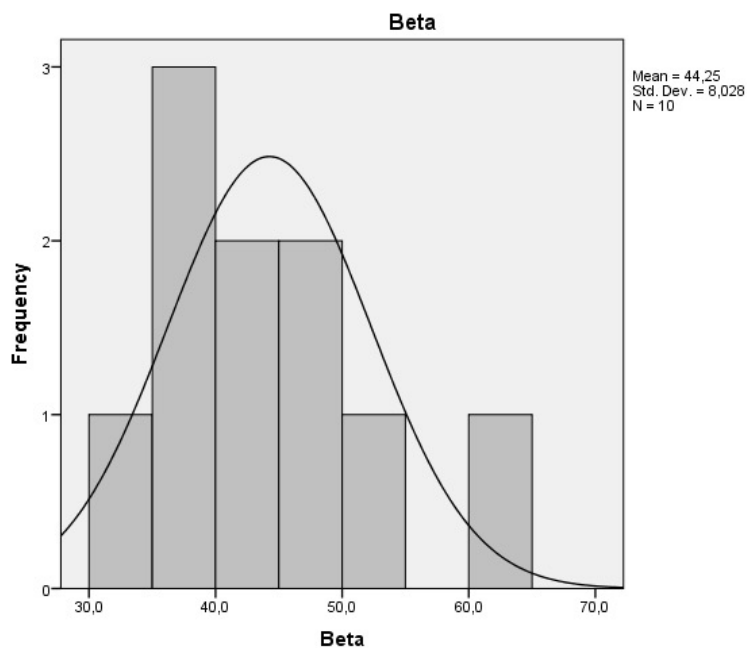
Slika 19: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Izmetni kot krogle (α).



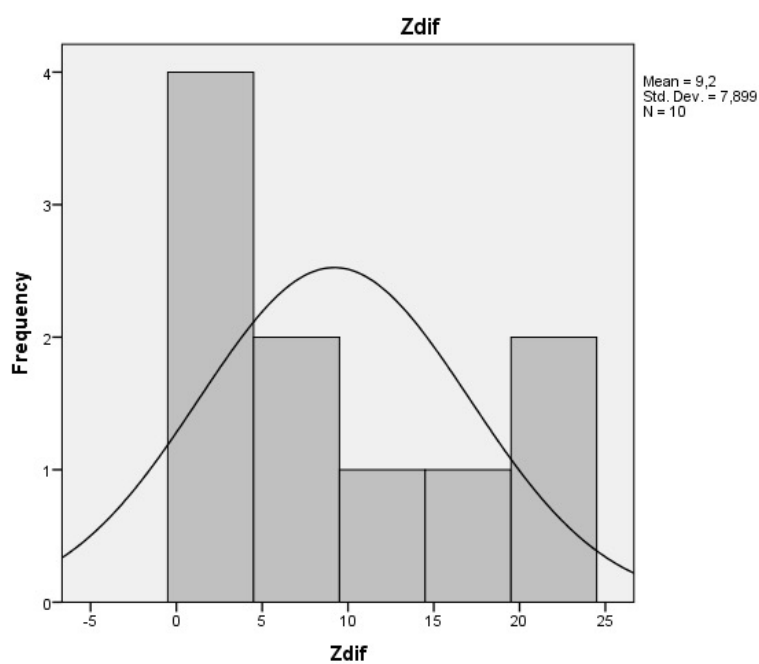
Slika 20: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Kotna hitrost v komolcu izmetne roke ob izmetu (KvKM).



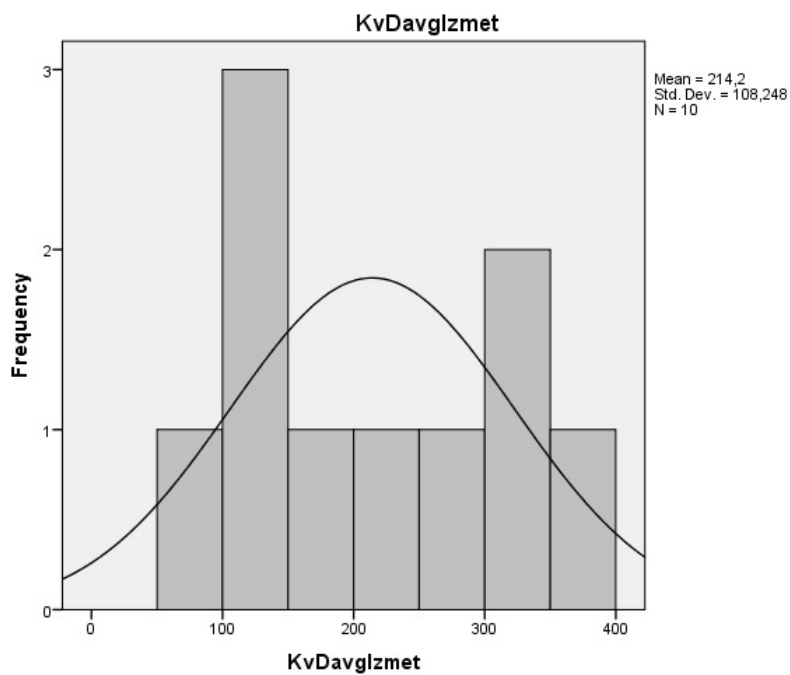
Slika 21: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Kotna hitrost v kolenu potisne noge ob izmetu (KvKN).



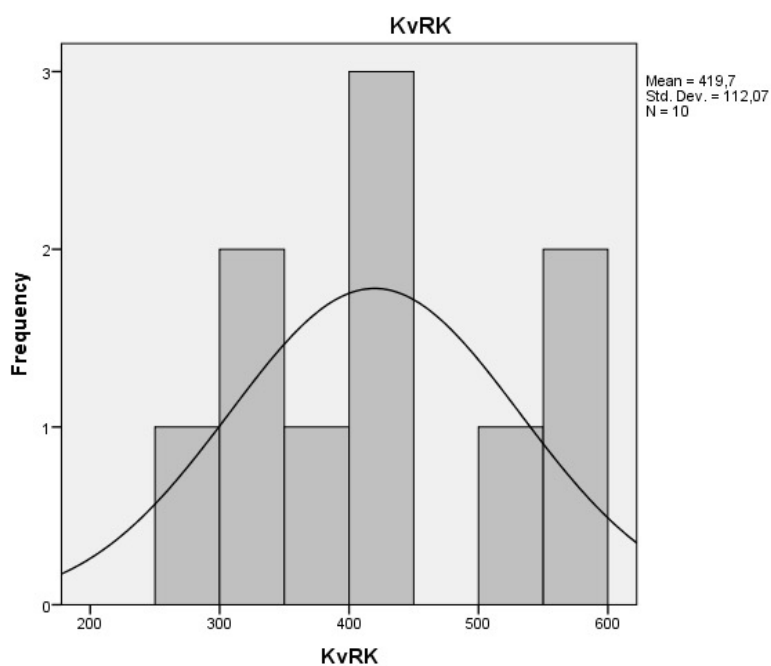
Slika 22: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Kot med kolčno in ramensko osjo v začetku 2. dvooporne faze (β).



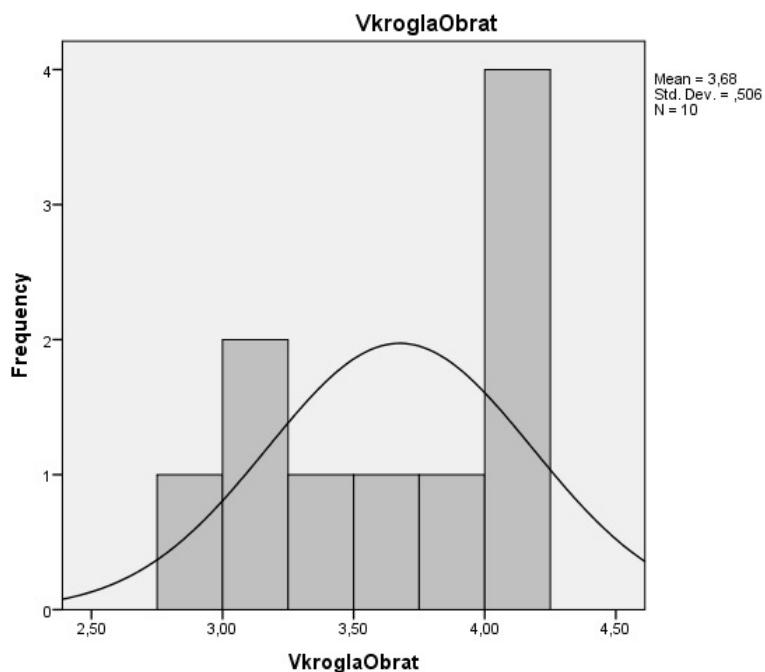
Slika 23: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Odstopanje od idealne širine (20 cm) postavitve stopal v začetku 2. dvooporne faze (Zdif).



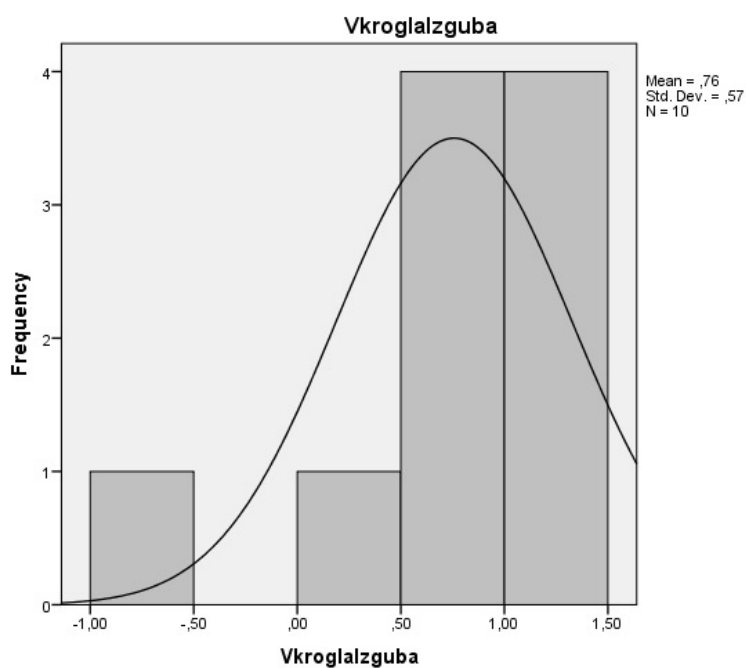
Slika 24: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Seštevek absolutnih kotnih hitrosti desnega kolenskega sklepa v izmetni fazi (KvDavglzmet).



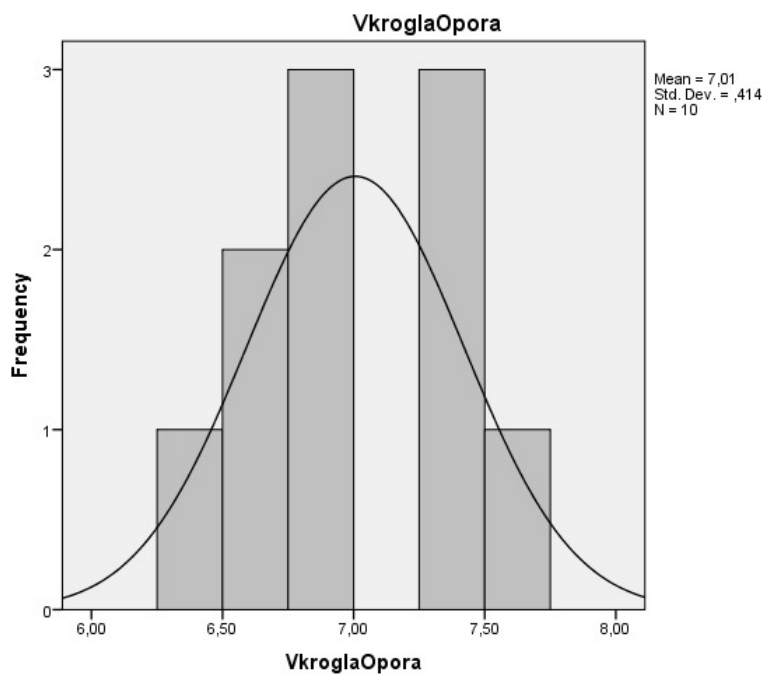
Slika 25: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Seštevek absolutnih kotnih hitrosti med ramensko in kolčno osjo v izmetni fazi (KvRK).



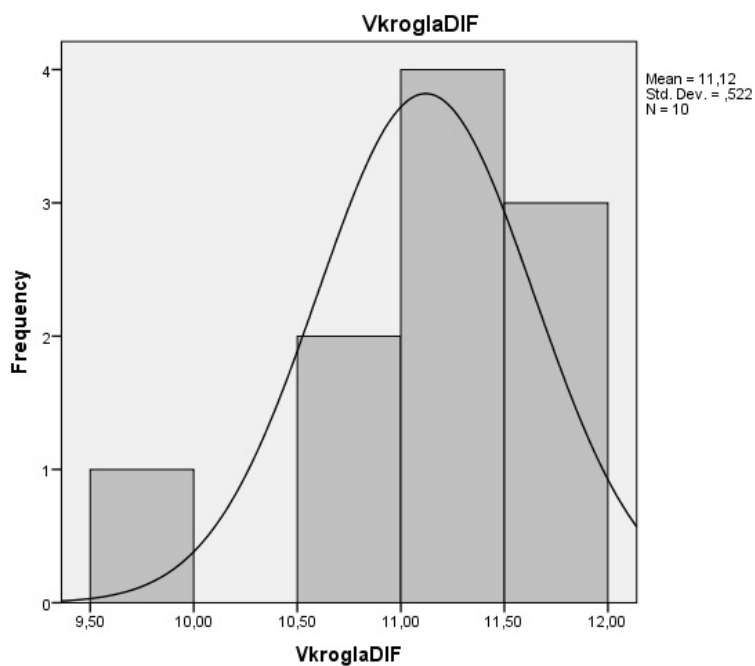
Slika 26: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Povprečna hitrost krogle v fazi obrata in prehitevanja orodja (VkroglObrat).



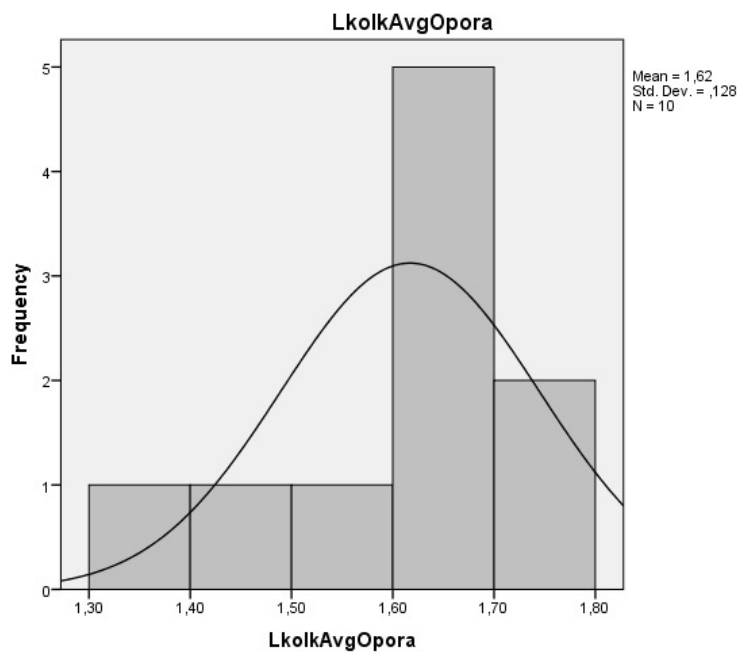
Slika 27: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Padeč povprečne hitrosti krogle v 2. enooporni fazi v primerjavi s 1. enooporno in 1. brezoporno fazo (Vkroglalzguba).



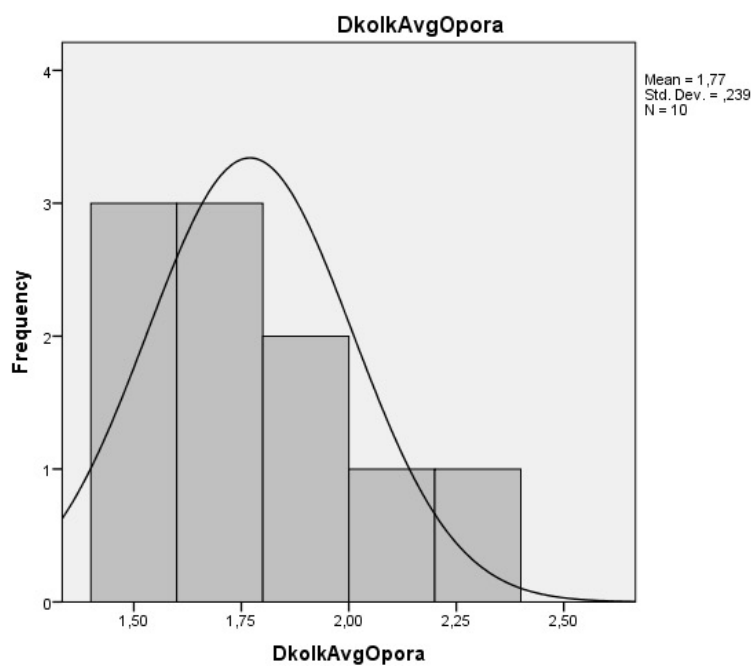
Slika 28: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Povprečna hitrost krogle od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (VkroglaOpora).



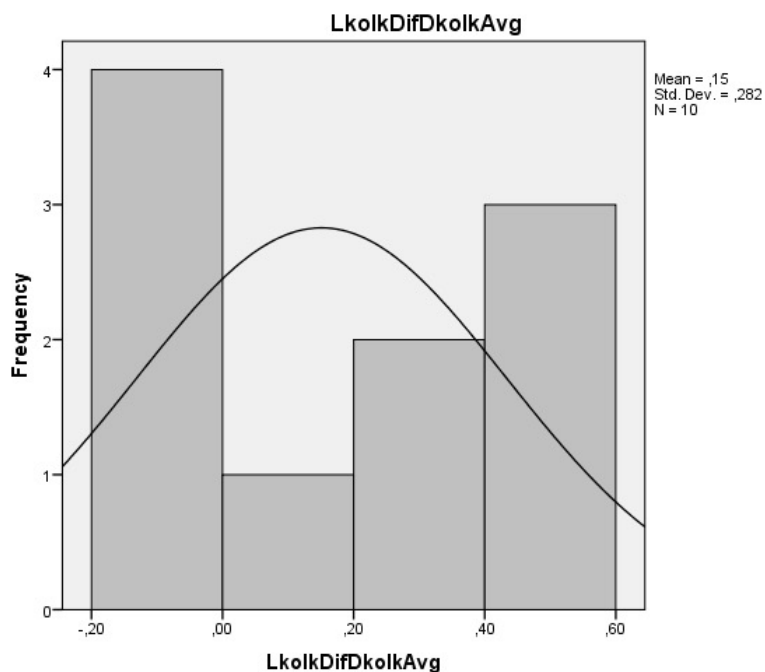
Slika 29: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Razlika v hitrosti krogle od začetka 2. dvooporne faze do končne izmetne hitrosti (VkroglaDIF).



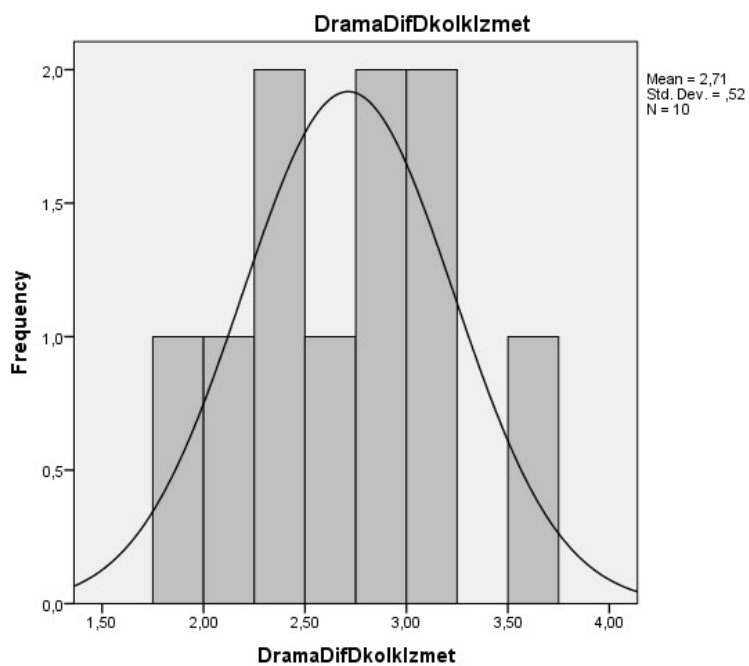
Slika 30: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Povprečna hitrost levega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (LkolAvgOpora).



Slika 31: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Povprečna hitrost desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (DkolAvgOpora).



Slika 32: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Razlika v povprečni hitrosti levega in desnega kolka od začetka 2. dvooporne faze do izmeta (LkolkDifDkolkAvg).



Slika 33: Grafični prikaz distribucije rezultatov za kinematični parameter Razlika največjih hitrosti desne rame in desnega kolka v izmetni fazi (DramaDifDkolkIzmet).