

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT
Kineziologija

**POVEZANOST HITROSTI LETA ŽOGE PRI RAZLIČNO DOLGI KINETIČNI
VERIGI NOGOMETNEGA STRELA NA GOL Z MOČJO SODELUJOČIH
MIŠIC**

DIPLOMSKO DELO

MENTOR:

Doc. dr. Igor Štirn, prof.šp.vzg.

RECENZENT:

Doc. dr. Primož Pori, prof. šp. Vzg.

Avtor dela:

ALJOŠA KUZMANOVSKI

Ljubljana, 2015

Zahvala

Za strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela, vodenju meritev, svetovanju ter vsej potrebni pomoči se iskreno zahvaljujem mentorju, dr. Igorju Štirnu. Hvala tudi recenzentu, dr. Primožu Poriju.

Največja zahvala gre staršema, ki mi stojita ob strani ves čas mojega šolanja, me podpirata na vsakem koraku ter skrbita da imam najboljši možen vzor na svoji življenjski poti. Staršema posvečam diplomsko delo, ker vem kako pomemben mejnik to predstavlja v naših življenjih.

Hkrati se zahvaljujem vsem merjencem, ki so sodelovali v raziskavi za čas ter podporo pri izdelavi diplomskega dela.

Ključne besede: nogomet, nogometni strel, kinetična veriga, izometrična sila, hitrost žoge

POVEZANOST HITROSTI LETA ŽOGE PRI RAZLIČNO DOLGI KINETIČNI VERIGI NOGOMETNEGA STRELA NA GOL Z MOČJO SODELUJOČIH MIŠIČ

Aljoša Kuzmanovski

IZVLEČEK

Profesionalni nogometaši morajo obvladovati vse tehnične ter taktične elemente nogometne igre. Strel na gol je zagotovo en izmed pomembnejših tehničnih elementov, ki lahko odločilno vpliva na razplet tekme.

Namen diplomskega dela je bil prikazati, kako s podaljševanjem kinetične verige pri nogometnem strelu vplivamo na hitrost leta žoge ter hkrati kakšen vpliv ima moč mišic, ki se vključujejo v kinetično verigo pri izvajanju nogometnega strela.

Deset treniranih nogometašev je prostovoljno sodelovalo v raziskavi, kjer so izvajali strel z omejitvijo gibanja po sklepih. Merjena je bila hitrost leta žoge pri strelu samo iz kolena, kolka, koraka ter pri izvedbi strela iz zaleta brez omejitev. Naslednji dan je bila izmerjena največja izometrična sila mišic iztegovalk kolena, upogibalk kolka ter sukalk trupa, ki sodelujejo pri strelu.

Rezultati so pokazali linearno povečanje hitrosti leta žoge s postopnim vključevanjem več mišic v kinetično verigo. Hitrosti leta žoge dosežene pri strelah iz kolena, kolka ter iz koraka so bile spoznane za statistično povezane, medtem ko hitrosti dosežene pri strelu iz zaleta s temi spremenljivkami niso bile povezane. Iz rezultatov največjih izometričnih sil pa smo ugotovili zgolj povezanost največje izometrične sile iztegovalk kolena s hitrostjo leta žoge pri strelu iz koraka. Regresijska analiza je pokazala, da lahko z največjim navorom kolena pojasnimo 57% variance hitrosti strela iz koraka.

Naši rezultati tako kažejo, da je za izpopolnitev nogometnega strela ključnega pomena optimalno delovanje kinetične verige, v kateri ima še posebno pomembno vlogo aktivacija mišic iztegovalk kolena. Slednje velja za enostavno podaljševanje kinetične verige strela z mesta, medtem ko hitrost strela z zaletom ni bila povezana z merjenimi spremenljivkami. Strel iz zaleta v tem kontekstu očitno predstavlja neodvisno gibalno nalogo oziroma tehniko.

Key words: soccer, soccer kick, kinetic chain, isometric force, ball speed

THE CONNECTION BETWEEN THE SPEED OF THE TRAVELING BALL BEING KICKED WITH A KINETIC CHAIN OF DIFFERENT LENGTHS TO THE POWER OF THE MUSCLES INVOLVED

Aljoša Kuzmanovski

ABSTRACT

Professional soccer players have to perform on the top level in all aspects of the game. A soccer kick is definitely one of the most important elements and the final match result often depends on it.

The purpose of this dissertation was to show how prolonging the kinetic chain in a soccer kick influences the speed of the ball and what influence the power of the muscles have as they become part of that kinetic chain during the soccer kick.

Ten amateur soccer players participated in the research. They performed a soccer kick with limitations at different joint points. The speed of the ball was measured when the participants kicked the ball from the knee, the hip, without and with run up. The following day, we measured maximal isometric force of the knee extensors, hip flexors, and trunk rotators.

The results showed a linear increase in the speed of the ball as more muscles joined the kinetic chain. The speed of the ball being kicked from the knee, the hip, and without run up were statistically related, while the speed of the ball being kicked with run up had no correlation with other variables. The only correlation that involved maximal isometric force was the correlation between the maximal isometric force of knee extensors and the speed of the ball being kicked without run up. The regression analysis showed that with the highest torque of the knee joint we can expect a 57% variance of the speed of the ball being kicked without run up.

We can tell from our results that the improvement of the soccer kick performance lies in the optimal performance of the kinetic chain in which the activation of knee extensors plays a vital role. This is only the case when the ball is kicked with the kinetic chain that doesn't involve the run up kick. We may assume that kicking the ball with run up has a different pattern and makes use of a different technique than is the case with kicking the ball without run up.

Kazalo vsebine

1.	Uvod	7
1.1	Nogometni strel.....	8
1.2	Kinetična veriga	9
1.3	Razvoj sile med mišičnim naprežanjem.....	10
1.4	Namen	11
1.5	Cilji	12
1.6	Hipoteze	12
2.	Metode dela	14
2.1	Preizkušanci.....	14
2.2	Pripomočki.....	14
2.3	Postopek.....	15
2.3.1	Merjenje hitrosti leta žoge	15
2.3.2	Merjenje navora med največjim izometričnim naprežanjem	17
2.4	Analiza podatkov	19
3.	Rezultati in razprava.....	21
3.1	Rezultati.....	21
3.2	Razprava	25
3.2.1	Preverjanje hipotez	27
3.2.2	Pomanjkljivosti raziskave.....	28
4.	Sklep	29
5.	VIRI	31

Kazalo slik

SLIKA 1. FAZE NOGOMETNEGA STRELA.....	8
SLIKA 2. MOŽNA MESTA KONTAKTA STOPALA Z ŽOGO	9
SLIKA 3. STOJALO Z MONTAŽNO DESKO IN PASOM.	16
SLIKA 4. NAMEŠČEN RADAR ZA ZAŠČITNO MREŽO.	16
SLIKA 5. VPENJANJE MERJENCA OB MONTAŽNO DESKO PRED IZVEDBO STRELA IZ KOLENA.	17
SLIKA 6. POSTAVITEV ŽOGE PRED IZVEDBO STRELA.	17
SLIKA 7. NAMEŠČANJE MERJENCA V NAPRAVO ZA IZTEG KOLENA.	19
SLIKA 8. POSTAVITEV MERJENCA MED OPRAVLJANJEM NAJVEČJEGA IZOMETRIČNEGA KRČENJA UPOGIBALK KOLKA.	19
SLIKA 9. PRIKAZ NARAŠČANJA HITROSTI LETA ŽOGE S POSTOPNIM VKLJUČEVANJEM VEČ MIŠIC K IZVEDBI STRELA.	22
SLIKA 10. PRIKAZ LINEARNEGA NARAŠČANJA HITROSTI LETA ŽOGE DO STRELA IZ ZAleta ZA VSE MERJENCE.	23

Kazalo tabel

TABELA 1 OSNOVNI PODATKI O MERJENCIH	14
TABELA 2 SUROVI REZULTATI MERITEV.....	21
TABELA 3 KORELACIJE MED ABSOLUTNIMI HITROSTMI LETA ŽOGE PRI STRELU IZ KOLENA, KOLKA, KORAKA TER IZ ZAleta	22
TABELA 4 PRIKAZ ORIGINALNEGA IZPISA REGRESIJSKE ANALIZE IZ SPSS-A.....	24

1. Uvod

Nogomet se danes igra na profesionalni ravni po vsem svetu. Milijoni ljudi redno obiskujejo nogometne stadione, kjer vzpodbujajo svoje moštvo, medtem ko jih še več spremlja tekme preko televizijskih zaslonov. Velik delež ljudi prav tako igra nogomet na amaterski ravni. Glede na anketo, ki jo je pripravila FIFA (krovna organizacija) ter objavila leta 2001, redno igra nogomet 240 milijonov ljudi v več kot 200 državah po vsem svetu. Po zadnjih podatkih nogomet velja za najbolj spremljan šport preko televizije (FIFA, 2001).

Enostavna pravila ter malo pripomočkov potrebnih za igro omogočata, da se nogomet lahko igra praktično povsod.

Nogomet na najvišji ravni med profesionalnimi športniki prinaša ogromne zasluge ter velja za sinonim lagodnega življenja. Zato ne preseneča dejstvo, da so sanje mnogih mladih športnikov postati vrhunski nogometaši. Izjemna priljubljenost ter razširjenost tega športa hkrati pomenita izjemno konkurenčnost med igralci, kar pomeni, da uspejo le najboljši. Postati profesionalni nogometaš je kompleksen proces, ki zahteva ogromno odrekovanja, treningov ter nenazadnje tudi talenta. Ker so razlike med profesionalci zelo majhne, malenkosti ločijo najboljše od povprečnih.

Zaradi vseh lastnosti ter sposobnosti so nogometaši na najvišjem nivoju tako cenjeni in spoštovani.

Elsner (2004) trdi, da so za reševanje zapletenih ter nepredvidljivih situacij, do katerih prihaja med nogometno tekmo, potrebne psihomotorične sposobnosti, kot so moč, hitrost, preciznost, koordinacija, gibljivost in ravnotežje ter visoke funkcionalne sposobnosti organizma nogometašev. Reševanje igralnih situacij v boju z nasprotnikom zahteva tudi specifične intelektualne in ne nazadnje ustrezne vedenjske lastnosti.

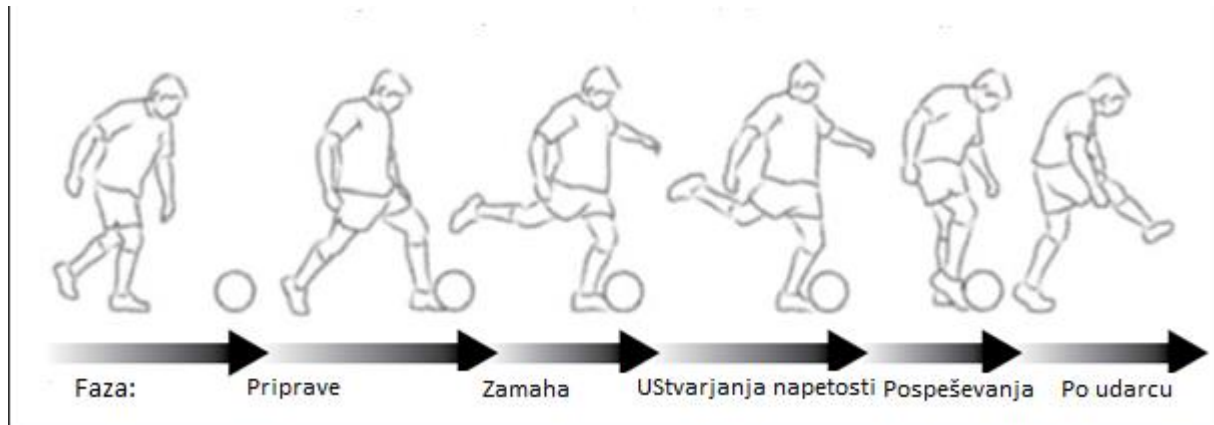
Dinamika igre je pomembna lastnost sodobnega modela igre, ki je pogojena s kondicijsko pripravljenostjo nogometašev, dinamično tehniko, taktičnim znanjem in uigranostjo. Določa jo hitrost gibanja žoge in igralca, hiter prehod iz ene faze igre v drugo fazo igre ter vedno večja količina teka in sprintov (Verdenik, 1999).

Nogometno tehniko Elsner (2004) opisuje kot gospodarno izvedeno gibanje, ki omogoča najvišje športne dosežke. Specialno tehniko pojmuje kot gibanje z žogo, ki so posebnost, saj motorične naloge z žogo izvajamo z manj izurjenimi okončinami – z nogami in glavo. Igralec mora v igri mnogokrat reševati zelo kompleksne motorične naloge. Žogo mora ustaviti, sprejeti, prevarati mora nasprotnika, žogo mora natančno podati soigralcu ali streljati na vrata.

Glede na to, da je cilj igre doseči več zadetkov kot jih prejeti, je zagotovo pomemben element nogometne igre strel na gol. Tekme se veliko krat odločujejo preko standardnih situacij, kot je prosti strel ali enajstmetrovka, zato je dobra izvedba nogometnega strela ključnega pomena. Za doseganje zadetkov so "zadolženi" napadalci, za katere velja, da imajo najboljšo tehniko strela na gol, iz tega razloga so v nogometnem svetu najbolj iskani ter imajo najvišje vrednosti.

1.1 Nogometni strel

Brophy, Backus, Pansy, Lyman in Williams (2007) so nogometni strel razdelili v 5 faz s 6 dogodki, kot prikazuje Slika 1. Strel se začne s postavitvijo noge, s katero izvajamo udarec, pred žogo, sledi prva faza – faza priprave, ki se začne s postavitvijo stojne noge čim bližje žogi ter konča z dvigom na prste udarne noge, sledi faza zamaha, ki se konča z maksimalno iztegnitvijo kolka, z maksimalnim upogibom kolena se konča faza ustvarjanja napetosti, kateri sledi faza pospeševanja, ki se konča s kontaktom noge z žogo. Strel se konča s fazo po udarcu, kjer se zmanjšuje hitrost udarne noge.

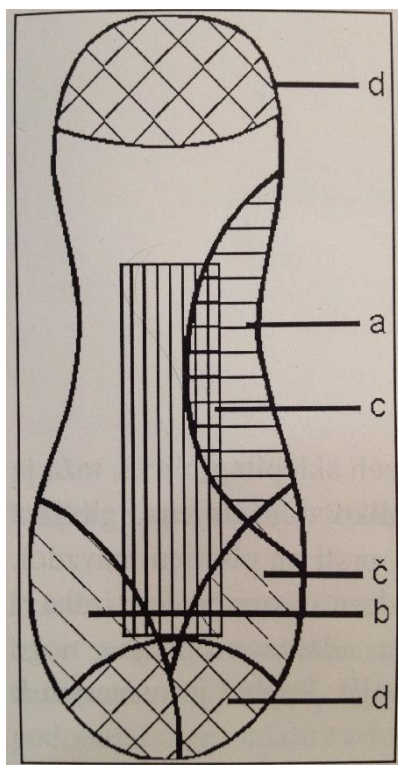


Slika 1. Faze nogometnega strela (prirejeno po: Brophy idr., 2007).

Brophy idr. (2007) so z elektromiografijo merili aktivnost mišic, ki izvajajo strel. Izmerili so, da upogib kolena med strelom v večji meri izvaja medialni del mišic zadnjega dela stegna (medial hamstrings), za izteg kolena sta odgovorni mišici vastus lateralis in medialis, primik noge v kolku izvajajo primikalke kolka, upogib kolka pa mišica iliacus. Izteg kolka izvaja mišica gluteus maximus, odmik pa gluteus medius. Za gibanje v gležnju sta odgovorni predvsem mišici gastrocnemius, ki izvaja izteg gležnja (plantarno fleksijo) in mišica tibialis anterior, ki izvaja upogib gležnja (dorsalno fleksijo).

Za moč nogometnega strela so ključnega pomena tehnika, optimalni transfer energije med segmenti, kot ter hitrost pristopa k žogi, nivo sposobnosti, spol, starost, dominantnost noge, lastnosti kontakta noge z žogo, moč mišic nogometašev ter vrsta strela (Kellis in Katis, 2007).

Glede na različne igralne situacije v katerih se nogometaši znajdejo, poznamo več tehnik nogometnega strela. Tehnika nogometnega strela temelji na hitrosti žoge, natančnosti, vrtinčenosti in letu žoge. Hkrati je prav tako pomembna igralčeva postavitev na igrišču v odnosu z žogo (Neilson in Jones, 2005).



Slika 2. Možna mesta kontakta stopala z žogo (Elsner, 2004).

Elsner (2004) je med najpogostejše vrste udarcev uvrstil udarce z notranjim delom stopala (a), s sprednjim notranjim delom stopala (č), z nartom stopala (c), s sprednjim zunanjim delom stopala (b), s konico ali peto (d), kolenom in udarci z glavo. Kje je kontakt stopala z žogo za vsako vrsto strela je prikazano na Sliki 2.

Najpogostejša oblika strela pri zaključevanju akcij je strel z nartom. Elsner (2004) je udarec z nartom opisal na naslednji način: stojna noga je v trenutku dotika z žogo postavljena ob žogi in dvignjena malo na prste. Udarčna noga je v kolenu pokrčena. V skočnem sklepu je čvrsta in v iztegnjenem položaju. Prsti so obrnjeni navzdol, telo je obrnjeno v smeri udarca in v bokih malo upognjeno. Udarec izvedemo tako, da s pokrčenim kolenoma zamahnemo naprej, nato iztegnemo koleno in z nartom stopala udarimo žogo. Po udarcu udarna noga nadaljuje zamah.

Na učinkovitost oziroma kvaliteto nogometnega strela vplivajo let žoge, njena hitrost ter natančnost. Ti dejavniki so odvisni od vrste udarca oziroma s katerim delom stopala je bil strel izveden. Največja hitrost leta žoge velja kot glavni pokazatelj uspešnosti strela. Ob hitrosti je prav tako pomembna natančnost. Pri strelu na gol igralci želijo izvesti strel kar se da močno in natančno, da bi zmanjšali reakcijski čas vratarja ter povečali njegovo oddaljenost od žoge. Ustrezno kombinacijo je seveda težko doseči (Sterzing, Lange, Wächtler, Müller in Milani, 2009).

Enakega mnenja je tudi Elsner (2004), ki trdi, da je osnovna zahteva za uspešno streljanje dobra tehnika udarca. Trdi, da sta točnost in moč udarca enako pomembni. Dodaja, da je temeljno načelo pri streljanju, da žogo vedno udarjamo z nogo, ki je bližje žogi. Z bolj oddaljeno nogo streljamo le, kadar imamo dovolj časa in nas nasprotnik ne ovira. Izreden pomen namenja temu, da vratarja pri streljanju presenetimo, zato mora biti priprava za strel kratka in zamaskirana.

Nogometni strel je glavni element v napadalnih akcijah med tekmo. Moštvo z več streli v okvir vrat ima večje možnosti zadeti gol in premagati vratarja ter na koncu zmagati. Iz tega razloga so izboljšave nogometnega strela ene glavnih ciljev treninga, še posebej pri mladih nogometaših (Weineck, 1997).

Večina raziskav zajema nogometni strel v celoti, primanjkuje pa raziskav ter literature, kjer je nogometni strel razdeljen v več segmentov.

1.2 Kinetična veriga

Človeško telo lahko prikažemo kot več sklepni sistem, sestavljen iz več telesnih segmentov povezanih s sklepi. Togi deli telesa so med sabo povezani v kinetično verigo. Najpreprostejša

kinetična veriga je sestavljena iz dveh delov, ki ju povezuje en sklep. Povezavi dveh sosednjih delov telesa, med katerima je sklep, pravimo kinetični par. Poznamo enostavne in kompleksne kinetične verige. Pri enostavnih se telesni segment povezuje v največ dva kinetična para. Pri kompleksni kinetični verigi je vsaj en telesni del povezan v več kot dva kinetična para. Človeško roko ali nogo lahko smatramo kot enostavno kinetično verigo, vendar ko vključimo trup, govorimo o kompleksni kinetični verigi. Trupu lahko pripišemo pet kinetičnih parov: dva kolčna sklepa, dva ramenska sklepa ter hrbtenična vretenca. Podrobneje lahko kinetično verigo delimo na odprto in zaprto. Za odprto velja, da se en del kinetične verige (npr. distalni) lahko prosto giba. Pri zaprtih verigah je gibanje omejeno na obeh koncih kinetične verige (Zatsiorsky, 1998). Enostaven primer zaprte kinetične verige je počep, medtem ko je nogometni strel brez zaleta primer odprte kinetične verige. V odprti verigi so gibi hitrejši. Največjo hitrost imajo balistični gibi v nasprotju z gibi, pri katerih se spreminja smer giba in ki ga je treba natančno usmerjati. V serijah poklicnih gibov se tipa med seboj prepletata.

Mehanizem odprte kinetične verige omogoča, da se energija, ki jo proizvajajo mišice pri določenem gibanju, prenaša preko sklepov in se seštevata. Energija, ki jo ima projektil v trenutku, ko izgubi stik s telesom, predstavlja vsoto energije, h kateri prispevajo vse do tedaj aktivirane mišice (Štirn, 2009).

Za največji izkoristek kinetične verige je hkrati potrebna pravilna koordinacija celotnega giba. Koordinacija je sposobnost učinkovitega oblikovanja in izvajanja kompleksnih gibalnih nalog. Kaže se v učinkoviti uskladitvi časovnih in prostorskih elementov gibanja (Pistolnik, 2011). Pomembna je tudi časovna usklajenost mišic: pri prehitri aktivaciji distalnih mišic primarne mišice nimajo dovolj časa za delovanje in ostanejo premalo izkoriščene. In nasprotno – pri prepozmem vključevanju distalnih mišic te nimajo dovolj časa in so slabše izkoriščene. Časovna usklajenost aktivacije posameznih mišic v kinetični verigi mora biti torej optimalna, rezultat pa je dobra tehnika oziroma velika hitrost projektila (Štirn, 2009).

Učinkovitost kinetične verige se kaže z optimalnim številom, zaporedjem in pravočasnim koriščenjem segmentov, ki se vključujejo v gibanje. Segmente pa lahko opazujemo preko točk sklepov. Najprej se vključujejo večji in nato manjši sklepi in od znotraj navzven (proksimalno-distalen princip). V primeru vključevanja najprej manjših delov telesa se poveča možnost poškodb (Groppel, 1992, v Cankar, 2006). Učinkovitost kinetične verige je največja, če predhodni sklep ustvari največjo hitrost takrat, ko je naslednji v fazi pospeševanja (Zmajić, 2005, v Cankar, 2006).

Proksimalno-distalno zaporedje mišične aktivnosti je bilo opaženo v številnih gibanjih, ki opisujejo mete ali udarce. Proksimalno-distalni princip govori o tem, da se najprej aktivirajo mišice, ki so bližje začetku ustvarjanja sile – pri nogometnem strelu se začetna sila ustvari pri rotaciji trupa, nato se aktivirajo mišice kolka, kolena ter na zadnje gležnja, oziroma stopala. Mišice stopala v tem primeru predstavljajo najbolj distalne mišice te kinetične verige.

1.3 Razvoj sile med mišičnim napreznjem

Mišično napreznje je aktivacija napetostnih mehanizmov v mišičnih vlaknih. Ko govorimo o napreznju, ni nujno, da imamo v mislih krajšanje mišičnih vlaken, kajti napetost v mišici se

lahko spremeni tudi brez spremembe v dolžini mišičnih vlaken. Tako lahko mišičnemu napreznju pripišemo dve glavni spremenljivki: dolžino ter napetost. Mišična napetost je sila, ki jo ustvari mišica na nek objekt ali breme, ki s svojo silo bremeni to mišico (Widmaier, Raff in Strang, 2010). V primerih, ko se dolžina mišičnih vlaken spremeni, napetost pa ostane enaka, govorimo o izotoničnem napreznju. Dolžina mišičnih vlaken se pri izotoničnem napreznju lahko skrajša ali podaljša. V primeru krajšanja mišičnih vlaken gre za koncentrično napreznje, medtem ko podaljševanje mišičnih vlaken pripisujemo ekscentričnemu napreznju. Kadar pride do spremembe v napetosti mišice, brez da bi se spremenila dolžina mišičnih vlaken, govorimo o izometričnem napreznju (Sircar, 2008). Pri razvoju izometrične sile se mišica upira pasivni zunanji sili (npr. togim, nepremičnim objektom). Ko sta sila mišic in pasivna zunanja sila izenačeni, se ustvari mišična napetost, vendar ne pride do krajšanja mišičnih vlaken (Hochmuth, 1984).

Sila lahko mišico obremenjuje v obliki bremena ali napetosti. Pri naravnih gibanjih, ki vključujejo lokomotorni sistem, se mišična napreznja neprestano spreminjajo, glede na potrebe po spremembah v dolžini ter napetosti mišičnih vlaken med gibanjem (Biewener, 2003).

Povezava med mišično močjo ter uspešnostjo športnikov je predmet polemik, ne le v biomehanskem svetu, temveč tudi na drugih področjih, ki proučujejo moč mišic (Cabri, DeProft, Dufour in Clarys, 1988).

V literaturi je pomanjkanje raziskav na temo izometrične moči in nogometnega strela, kajti večina raziskav uporablja izokinetično merjenje moči. Pri takih raziskavah z merjenjem mišične moči lahko ocenjujemo silo, zmogljivost in vzdržljivost različnih mišičnih skupin pri krožnih gibih v različnih sklepih z določeno in izbrano hitrostjo giba.

Taka gibanja so bližja gibanjem v naravnih okoliščinah. Tako so raziskovalci našli pozitivne korelacije med silo izmerjeno v laboratoriju, s funkcionalnimi oziroma praktičnimi testi.

Perrine in Edgerton (1975) sta našla povezavo med izokinetično močjo in šprintom na 50 m ter vertikalnim skokom. Stevens (1980) je zabeležil napredek v vertikalnem skoku po 8 tedenskem izokinetičnem treningu v primerjavi s treningom dviganja uteži. Bosco, Mogroni in Luthanen (1983) so našli visoko korelacijo med izokinetičnimi gibi ter balističnimi tipi gibanj.

Gissis idr. (2006) so primerjali nogometaše najvišjega nivoja (mladi reprezentanti Grčije) z nogometaši nižjega nivoja (igralci mladega državnega prvenstva) ter rekreativci. Ugotovili so, da se igralci najvišjega nivoja razlikujejo od ostalih v moči (merili so izometrično silo) in hitrostnih sposobnostih.

Za izometrično silo, ki jo lahko razvijejo nogometaši lahko sklepamo, da je pomemben dejavnik, ki lahko vpliva na uspešnost ter kvaliteto nogometašev.

1.4 Namen

Z doseganjem visoke hitrosti žoge pri strelu na gol imajo nogometaši ob ustrezni natančnosti več možnosti za doseg zadetka. Za razvijanje visoke hitrosti žoge ima med drugim moč mišic

pomembno vlogo. Že Manolopoulos, Katis, Manolopoulos, Kalapotharakos in Kellis (2013) so primerjali elektromiogramе strela z največjo hitrostjo, velikost sil podlage ter največjo izometrično silo noge pred in po 10 tedenskim treningom moči in ugotovili, da se je po 10 tednih treninga hkrati z največjo izometrično silo povečala tudi največja hitrost leta žoge pri strelu.

Namen naše raziskave je bil ugotoviti, koliko posamezne mišice doprinesejo k strelu. Zanimalo nas je, kako se spreminja hitrost leta žoge, če pri strelu podaljšujemo kinetično verigo in dodajamo več mišic ter ali je velikost povečanja hitrosti pri podaljševanju kinetične verige povezana z največjo silo, ki jo igralec lahko razvije pri aktivaciji mišic dodanega segmenta. Kot sem predhodno omenil so Brobhy idr. (2007) ugotovili, da pri strelu sodelujejo mišice gluteus maximus, gluteus medius, vastus lateralis, vastus medialis, medialni del mišic zadnjega dela stegna, gastrocnemius, odmikalke kolka in tibialis anterior. Naštete mišice smo obravnavali kot mišice iztegovalke kolena, upogibalke kolka in dodali smo še mišice sukalke trupa.

V želji po boljši izvedbi nogometnega strela smo ugotovili, da večina raziskav obravnava nogometni strel kot eno celoto, sestavljeno iz več povezanih gibov. Raziskave so bile delane tako z nogometaši kot z ne nogometaši. Nikjer nismo zasledili, da bi bila upoštevana specifična tehnika strela, kajti vsak posameznik ima razvit svoj osebni način izvajanja strela (četudi gre za strel z enakim delom stopala). Tako so razlike v tehniki strela, oziroma načinu strela, vidne med nogometaši, kaj šele med ne nogometaši.

Z namenom, da bi zmanjšali vpliv različnih tehnik izvedbe strela, smo v raziskavi postavili vse merjence v enake pogoje. Strela nismo obravnavali v celoti, ampak smo ga razdelili po sklepih na več podenot. Merili smo hitrosti leta žoge, ki so jih dosegali merjenci pri streljih z uporabo različnih mišic.

1.5 Cilji

V skladu z namenom dela so cilji raziskave bili:

- ugotoviti, kako se hitrost leta žoge pri nogometnem strelu povečuje s podaljševanjem kinetične verige oziroma z vključevanjem več mišic pri strelu,
- ugotoviti ali bo največja izometrična sila, ki jo lahko razvijejo merjenci pri določenih gibih, ki predstavljajo del kinetične verige pri strelu, sorazmerna s hitrostjo leta žoge pri strelu pri enakih delih kinetične verige,
- ugotoviti zakaj določeni nogometaši ne razvijajo visokih hitrosti leta žoge pri strelu na gol oziroma ugotoviti ali je možno na podlagi predlaganih meritev oceniti ali so morebiti nekateri deli kinetične verige boljše oziroma slabše razviti.

1.6 Hipoteze

Na podlagi opredeljenih ciljev smo določili naslednje hipoteze:

H1: S podaljševanjem kinetične verige se bo povečala hitrost leta žoge pri strelu.

H2: Največja izometrična moč mišic iztegovalk kolena, upogibalk kolka in sukalk trupa bo povezana s prirastkom hitrosti kot posledice podaljšanja kinetične verige, v segmentih kjer se te mišice vključujejo v kinetično verigo.

H3: Na podlagi rezultatov meritev izometričnih naprezanj obravnavanih mišic in doseženih hitrosti žoge pri različno dolgih kinetičnih verigah, bo mogoče ugotoviti deficit v kinetični verigi strela na gol pri posameznikih.

2. Metode dela

2.1 Preizkušanci

V raziskavi je sodelovalo 10 merjencev moškega spola. Vsi merjenci imajo izkušnje z igranjem nogometa v 2., 3. ali 4. članski slovenski nogometni ligi. Merjenci zaradi študijskih obveznosti trenirajo vsaj 1x tedensko ter odigrajo 1 tekmo na teden. Vsak izmed merjencev je treniral nogomet vsaj 5 let. V času meritev noben izmed merjencev ni imel poškodb spodnjih ekstremitet, ki bi lahko vplivale na rezultate raziskave.

Tabela 1
Osnovni podatki o merjencih

Št. preizkušanca	Starost	Telesna višina (cm)	Telesna masa (kg)	Udarna noga
1	22	180	74	D
2	22	184	84,3	D
3	21	171	73,9	D
4	23	184	77,9	D
5	22	175	73,5	D
6	21	185	84,7	D
7	20	175	69	L
8	22	180	76	D
9	22	189	84,9	D
10	20	182	71	D
Povprečje ± SO	21,5 ± 0,9	180,5 cm ± 5,5 cm	76,9 kg ± 5,8 kg	

Tabela 1 prikazuje osnovne podatke o merjencih (starost, telesna višina, telesna masa in noga s katero izvajajo nogometni strel ter povprečja in standardni odkloni za starost, telesno višino in telesno maso).

2.2 Pripomočki

Merjenci so v raziskavi strel izvajali z nogometno žogo Uefa Champions League, velikosti 5 (Finale 2014/2015, Adidas, Pakistan). Hitrost leta žoge se je merila z radarjem (Stalker ATS, Technology Drive Plano, Texas, ZDA).

Med izvajanjem meritev so bili merjenci pripeti s pasovi ob montažno desko, kot prikazuje Slika 5, s čimer smo imobilizirali delovanje mišic drugih sklepov pri strelu. Med desko in nogo merjenca je bila postavljena goba, ki je zmanjšala morebitno bolečino ob kontaktu noge z

desko pri izvedbi strela. Montažna deska s pasovi je bila nameščena na stojalo, kot je razvidno iz Slike 3.

Meritve največjega izometričnega naprežanja so bile izvedene v Kineziološkem laboratoriju Fakultete za šport. Izometrična sila moči iztegovalk kolena se je merila v opornici za izteg kolena. Moč upogibalk kolka je bila merjenja z uporabo tlačno nateznega senzorja za merjenje sile (MES, Maribor, Slovenija) Senzor je bil vpet v stojalo, katero je služilo kot opora. Za moč sukalk trupa je bila uporabljena naprava za rotacijo trupa.

Vsi senzori so bili umerjeni po protokolih Kineziološkega laboratorija Fakultete za šport.

2.3 Postopek

Merjenci so opravljali meritve v dveh dneh. Prvi dan so potekale meritve strelav in merjenja hitrosti leta žoge v dvorani, naslednji dan pa smo merili največje navore izometričnih sil mišic iztegovalk kolena, upogibalk kolka ter sukalk trupa v Kineziološkem laboratoriju.

2.3.1 Merjenje hitrosti leta žoge

V dvorani smo pred prihodom merjencev pripravili vse potrebno za potek meritev. Stojalo z nameščeno montažno desko ter pasovi smo namestili v dvorano, kot je razvidno iz Slike 3. V oddaljenosti 8m od stojala smo postavili radar na višino 1m. Med stojalom in radarjem je bila zaščitna mreža, ki je varovala radar pred udarcem žoge, kot prikazuje Slika 4.



Slika 3. Stojalo z montažno desko in pasom (osebni arhiv).



Slika 4. Nameščen radar za zaščitno mrežo (osebni arhiv).

Merjencem je bil ob prihodu predstavljen namen ter prikazana krajša demonstracija poteka raziskave. Na meritve so prihajali v paru v razmaku ene ure, v športni opremljeni (kratke hlače in kratka majica) ter s poljubno obutvijo.

Vsak merjenec je za ogrevanje 6 minut stopal na klopco višine 0,2m (z menjavo nog vsako minuto). Za tem so merjenci opravili še specialno ogrevanje po prosti izbiri.

Z zaključenim ogrevanjem smo merjence s pasovi vpeli ob montažno desko. Nogometni strel so izvajali na naslednje načine:

- **Iz kolena** (kot prikazuje Slika 5, smo merjence s pasom vpeli ob montažno desko, pričvrščeno v stojalo. Deska je bila postavljena v višini nad kolenom, tako da so merjenci lahko brez težav iztegnili koleno, gibanje v kolku ter trupu pa je bilo onemogočeno. Med robom deske ter stegnom je bila postavljena goba, ki je ublažila morebitno bolečino ob stiku stegna z desko pri strelu. Žoga je bila postavljena na tanko gobo, kar je omogočalo, da je ostala nepremična, kot je razvidno iz Slike 6. Locirana je bila pred konico stopala udarne noge. Strel so merjenci izvedli z zamahom iz upogiba ter iztega kolena).
- **Iz kolka** (merjence smo s pasom vpeli ob montažno desko, pričvrščeno v stojalo. Deska je bila postavljena v višini najvišje točke kolčnice, tako da so merjenci lahko brez težav upognili kolke ter iztegnili koleno. Gibanje v trupu pa je bilo onemogočeno. Med robom deske ter trebuhom in kolčnico je bila postavljena goba, ki je ublažila morebitno bolečino ob stiku kosti kolčnice z desko pri strelu. Žoga je bila postavljena na tanko

gobo, na mesto pred konico stopala udarne noge. Strel so merjenci izvedli z zamahom iz iztega ter upogiba v kolku in z upogibom ter iztegom kolena).

- **Iz koraka** (merjenci so izvajali strel brez omejitve gibanja. Omejeni so bili le glede zaleta, kar pomeni, da strela niso smeli izvesti s pomočjo zaleta. Stojna noga je bila ves čas postavljena ob žogi. Žoga je bila postavljena na tanko gobo vzporedno s sredino stopala stojne noge. Strel so merjenci izvedli iz rotacije trupa, iztega ter upogiba kolka in upogiba ter iztega kolena).
- **Iz zaleta** (merjenci so strel izvajali brez omejitve gibanja s poljubno dolžino zaleta. Žoga je bila postavljena na tanko gobo, da bi ostala nepremična).



Slika 5. Vpenjanje merjenca ob montažno desko pred izvedbo strela iz kolena (osebni arhiv).



Slika 6. Postavitev žoge pred izvedbo strela (osebni arhiv).

Vsi merjenci so vse strele izvajali s konico nogometnega čevlja in z maksimalno močjo. Tehnika strela s konico se od tehnike udarca z nartom (opisano v poglavju 1.1) razlikuje zgolj v mestu kontakta žoge in športnega copata. Zaporedje vrste izvajanja strelav je bilo naključno določeno. Vsak merjenec je za vsako vrsto strela imel na voljo 5 poskusov. Med vsako izvedbo strela je bilo določenih 30 sekund pavze.

Na drugi strani zaščitne mreže sem z radarjem meril in beležil hitrosti leta žoge ter merjencem dajal znak za izvedbo strela.

2.3.2 Merjenje navora med največjim izometričnim naprežanjem

Pred prihodom merjencev smo vse naprave, na katerih so se izvajale meritve, s senzorjem umerili. Umerjanje je potekalo s pomočjo znane uteži, katero smo postavili pravokotno na ročico naprave in z njo umerili senzor.

Merjencem je bil, kot prvi dan meritev, pred začetkom predstavljen postopek izvedbe s kratko demonstracijo. Na meritve so prihajali v paru v razmaku ene ure v športni opremi (kratke hlače in kratka majica) ter s poljubno obutvijo.

Tudi tokrat so za ogrevanje najprej 6 minut stopali na klopco (z menjavo nog vsako minuto). Zatem so opravili še specialno ogrevanje po prosti izbiri.

Merjenci so izvajali meritve navora za sledeče mišice v naključnem vrstnem redu:

- **Navor iztegovalk kolena – strel iz kolena:** kot prikazuje Slika 7, so se merjenci namestili v napravo za izteg kolena. Bližino naslonjača so prilagodili položaju kolena, kateremu je moralo biti gibanje v upogib ter izteg prosto. Udarno nogo smo merjencem vpeli v opornico v višini 5cm od točke lateralnega malleolusa gležnja. Opornica je bila nepremična in postavljena pod kotom v kolenu 60° . Pred izvedbo meritve smo merjence vpeli s pasom, da je bilo gibanje v kolku med meritvijo onemogočeno. Pod sedežem naprave sta pričvrščeni dve ročki, na kateri se je merjenec oprijel in potegnil, da bi med meritvijo razvil čim večjo silo.
- **Navor upogibalk kolka – strel iz kolka:** kot prikazuje Slika 8 smo merjence s hrbtom postavili ob stojalo ter jih vpeli s pasovi v višini prsi. S stojno nogo so bili postavljeni na višje ležeče mesto, tako da je bilo gibanje udarne noge prosto. Zanka, preko katere je bil pričvrščen senzor, je bila nameščena 5 cm višje od točke lateralnega malleolusa gležnja. Pred meritvijo smo izmerili razdaljo med zanko in trohanterjem, ki je predstavljala ročico navora v kolku. Med meritvijo so se merjenci oprijeli ogrodja stojala za njimi, ki jim je služilo kot opora, da bi lahko razvili čim večjo silo.
- **Navor sukalk trupa – strel iz koraka:** merjenci so se usedli v napravo za rotacijo trupa. Z obema rokama so se oprijeli opornice, ki je bila postavljena pod kotom 45° . Na sredini sedeža naprave je nameščena opora za noge, ob katero so se z notranjim delom stegen uprli, da bi razvili čim večjo silo. Med izvajanjem so merjenci morali sedeti z vzravnanim hrbtom ter s prsmi naslonjenimi na opornico naprave. Meritve rotacije smo opravljali v obe smeri.



Slika 7. Nameščanje merjenca v napravo za izteg kolena (osebni arhiv).



Slika 8. Postavitev merjenca med opravljanjem največjega izometričnega krčenja upogibalk kolka (osebni arhiv).

Ko so bili merjenci ustrezno nameščeni v napravah, smo na računalniku, ki je bil povezan s senzorjem, spremljali silo, ki so jo ustvarjale mišice. Na znak »pripravi« so merjenci ustvarili prednapetost do v naprej določene vrednosti. Ob znaku »zdaj« so maksimalno napeli mišice ter zadržali maksimalno silo tri sekunde. Vsak merjenec je opravil tri ponovitve za izteg kolena ter upogib kolka in dve ponovitvi na vsako stran pri rotaciji trupa. Merile so se sile samo udarne noge. V obe strani se je opravljala le rotacija trupa. Med izvajanjem vsake ponovitve je bila določena ena minuta odmora.

2.4 Analiza podatkov

Absolutne hitrosti leta žoge pri streljih, izmerjene z radarjem v km/h, smo prenesli v program Microsoft Excel. Izmed petih poskusov pri vsakem načinu strela smo izbrali najvišjo hitrost leta žoge. Izbrane podatke smo nato v Excelu prenesli na graf, kjer smo prikazali spremembe hitrosti, glede na podaljševanje kinetične verige. Hkrati smo izračunali delež hitrosti leta žoge

za vsak del kinetične verige, glede na maksimalno hitrost leta žoge, doseženo pri strelu iz zaleta. Dobljene deleže smo predstavili v stolpčnem grafikonu.

Pri merjenju največje izometrične sile iztegovalk kolena ter upogibalk kolka smo prav tako vse vrednosti prenesli v Excel ter izmed treh poskusov pri vsaki meritvi izbrali najboljšega. Da bi dobili navor, izražen v Nm, smo razliko v napetosti, izmerjeno med mirovanjem pred naprežanjem in med največjim naprežanjem pomnožili s konstantnimi vrednostmi, ki smo jih dobili pri umerjanju senzorjev naprav. Pri merjenju izometrične sile iztegovalk kolena je ta vrednost znašala $1V=76,3N$, pri merjenju izometrične sile upogibalk kolka pa $1V=61,3125N$. Pri upogibalkah kolka smo dobljeno vrednost pomnožili še z dolžino spodnje okončine od trohanterja do točke 5cm nad lateralnim malleolusom gležnja in na ta način dobili navor v kolku.

Za računanje navora mišic sukalk trupa smo pri napravi za rotacijo trupa največjo izmerjeno vrednost pomnožili z dolžino ročice, izraženo v metrih.

Vrednosti absolutnih hitrosti leta žoge pri različnih streljih, njihove deleže glede na strel iz zaleta ter navore pri izometričnih silah smo obdelovali v programu SPSS (SPSS 18.0 za Windows Inc., Chicago, IL, USA).

Najprej smo poiskali korelacije med vsemi spremenljivkami s pomočjo Pearsonovega koeficienta, ki meri linearno povezanost vsaj dveh intervalnih spremenljivk. Rezultati so bili spoznani kot statistično značilni, če je bila vrednost manjša od 0,05.

Z uporabo regresijske analize smo želeli ugotoviti, kolikšen del končnega rezultata (hitrosti strela), lahko pojasnimo z ostalimi merjenimi spremenljivkami.

3. Rezultati in razprava

3.1 Rezultati

Tabela 2 prikazuje absolutne in relativne hitrosti leta žoge, ki so jih merjenci dosegli pri streljih iz kolena, kolka, koraka ter iz zaleta. Zraven so prikazani tudi navori sodelujočih mišic med največjim izometričnim naprežanjem pri določenih telesnih segmentih.

Tabela 2
Surovi rezultati meritev

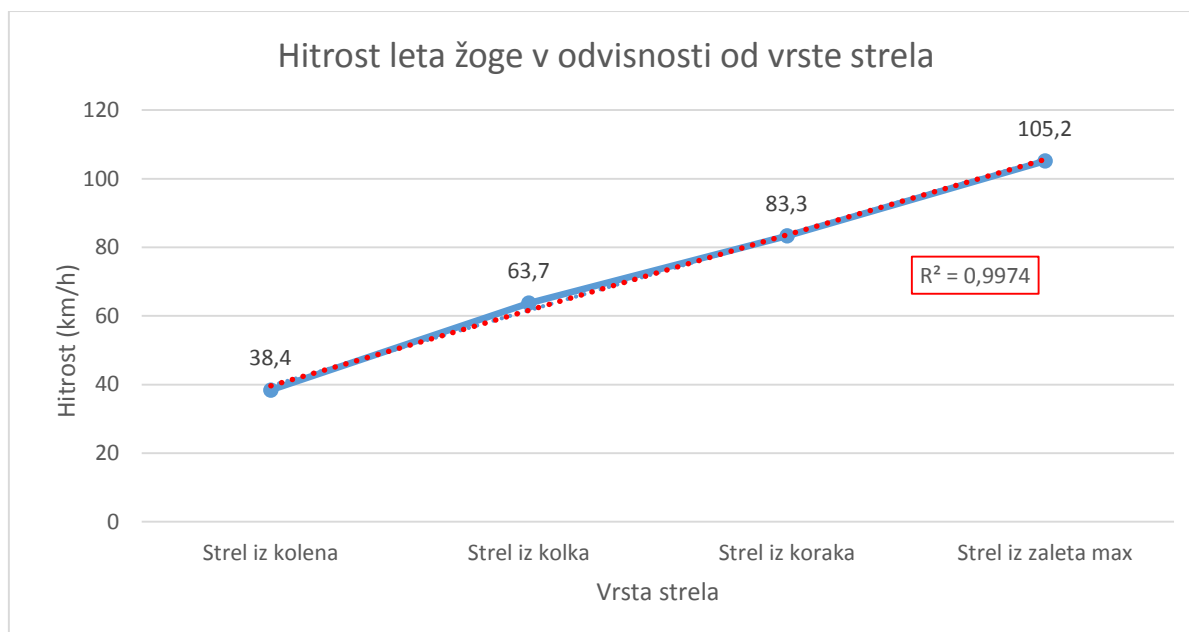
Merjenec	Strel iz kolena	Strel iz kolka	Strel iz koraka	Strel iz zaleta
M1	38,7	70,8	89,5	102,2
	37,9%	69,3%	87,6%	
	233,7	235,9	467,7	
M2	45,9	70,1	84,1	101,8
	45,1%	68,9%	82,6%	
	225,3	272,5	592,2	
M3	44,8	62,5	83,8	107,8
	41,6%	57,9%	77,7%	
	213,0	232,5	381,6	
M4	37,4	62	80,1	102,4
	36,5%	60,6%	78,2%	
	128,0	236,2	465,6	
M5	43,1	74,2	90,3	112,5
	38,3%	65,96%	80,3%	
	195,9	201,1	441,2	
M6	37,5	66,8	85,1	121,7
	30,8%	54,9%	69,9%	
	221,1	271,7	653,0	
M7	33,9	55,5	80,4	97,5
	34,8%	56,9%	82,5%	
	177,1	199,8	467,7*	
M8	32,4	58	82,7	99,8
	32,5%	58,1%	82,9%	
	197,2	230,5	520,8	
M9	34,3	54,3	79,1	109,3
	31,4%	49,7%	72,4%	
	159,0	290,9	436,2	
M10	36,1	63,2	78,2	96,5
	37,4%	65,5%	81,0%	
	120,3	174,2	448,7	

*uporabljen navor rotacije trupa v levo

	38,41	63,74	83,33	105,15
Povprečje:	36,62%	60,77%	79,51%	
	187,08	234,53	471,10	

Legenda.	Absolutne hitrosti (km/h)
	Deleži hitrosti
	Navori (Nm)

Slika 9 prikazuje povečevanje absolutne hitrosti leta žoge glede na podaljševanje kinetične verige. Uporabljene hitrosti so prikaz povprečja vseh merjencev. Iz rezultatov je razvidno, da se z vključevanjem več mišic v kinetično verigo hitrost leta žoge linearno povečuje. To dokazuje koeficient rezultatom prilagojene premice, ki je $R^2=0,9974$.



Slika 9. Prikaz naraščanja hitrosti leta žoge s postopnim vključevanjem več mišic k izvedbi strela.

Korelacijska analiza podatkov s Pearsonovim koeficientom v programu SPSS (Tabela 3) nam razkriva povezanosti med hitrostmi leta žoge pri strelu iz kolena, kolka ter iz koraka. Edino hitrosti leta žoge pri strelu iz zaleta niso korelacijsko značilne, kar je razvidno iz Slike 10.

Tabela 3

Korelacije med absolutnimi hitrostmi leta žoge pri strelu iz kolena, kolka, koraka ter iz zaleta

		ahkol	ahkolk	ahkorak	ahzalet
ahkol	Pearson Correlation	1	,710*	,520	,252
	Sig. (2-tailed)		,021	,124	,483
	N	10	10	10	10
ahkolk	Pearson Correlation	,710*	1	,810**	,312
	Sig. (2-tailed)	,021		,004	,379
	N	10	10	10	10
ahkorak	Pearson Correlation	,520	,810**	1	,424
	Sig. (2-tailed)	,124	,004		,222
	N	10	10	10	10

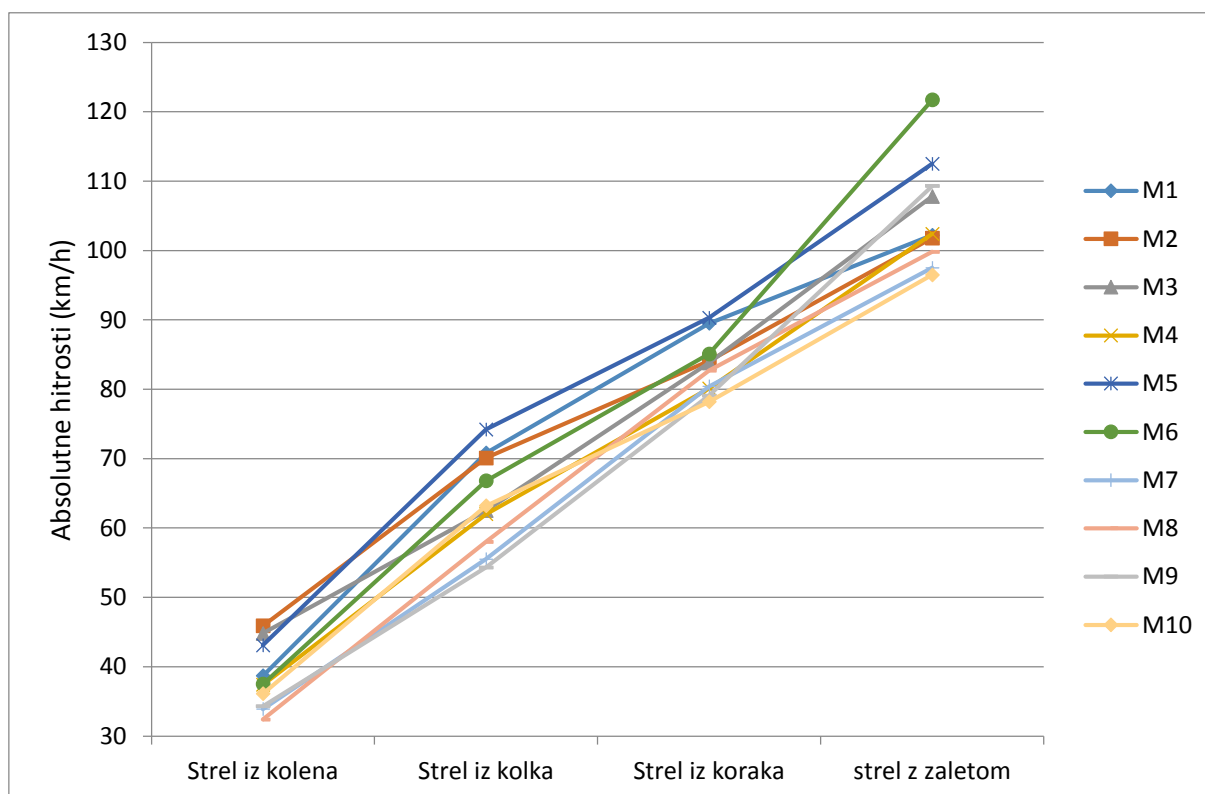
ahzalet	Pearson Correlation	,252	,312	,424	1
	Sig. (2-tailed)	,483	,379	,222	
	N	10	10	10	10

Legenda. * - povezava je statistično značilna na nivoju 0,05

** - povezava je statistično značilna na nivoju 0,01

ahkol = absolutna hitrost leta žoge pri strelu iz kolena, ahkolk = absolutna hitrost leta žoge pri strelu iz kolka, ahkorak = absolutna hitrost leta žoge pri strelu iz koraka, ahzalet = absolutna hitrost leta žoge pri strelu iz zaleta

V Tabeli 3 so prikazane statistično značilne korelacije med hitrostmi leta žoge pri strelu iz kolena in iz kolka kot tudi med hitrostmi leta žoge pri strelu iz kolka in iz koraka. Hkrati vidimo, da hitrost leta žoge pri strelu iz zaleta ni statistično značilno povezana z ostalimi spremenljivkami.



Slika 10. Prikaz linearnega naraščanja hitrosti leta žoge do strela iz zaleta za vse merjence.

Našli smo statistično značilno povezanost ($p=0,021$) med spremenljivkama AHKOL in AHKOLK ($r=0,71$). To pomeni, da tisti merjenci, ki so dosegali visoke hitrosti leta žoge pri strelu kolena, so dosegali tudi visoke hitrosti leta žoge pri strelu iz kolka.

Še bolj statistično značilna ($p=0,004$) je bila povezanost med spremenljivkama AHKOLK in AHKORAK ($r=0,81$). Torej tisti merjenci, katerih hitrosti leta žoge pri strelu iz kolka so bile visoke, so dosegali visoke hitrosti žoge tudi pri strelu iz koraka.

Statistično značilnih povezav med največjimi navori in hitrostmi leta žoge pri sledečih spremenljivkah nismo našli:

- Navor iztegovalk kolena – hitrost leta žoge pri strelu iz kolena
- Navor upogibalk kolka – hitrost leta žoge pri strelu iz kolka
- Navor sukalk trupa – hitrost leta žoge pri strelu iz koraka

Glede na rezultate pa smo ugotovili, da je največji navor med iztegovanjem kolena statistično značilno povezan s hitrostjo leta žoge pri strelu iz koraka ($p=0,012$).

Rezultati regresijske analize (Tabela 4) so kot najboljšo spremenljivko v povezavi s hitrostjo strele iz koraka pokazali navor iztegovalk kolena (Nkol), ki je pojasnila 57% variance kriterija, medtem ko ostale spremenljivke niso statistično značilno prispevale k modelu.

Tabela 4
Prikaz originalnega izpisa regresijske analize iz SPSS-a

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,754 ^a	,568	,514	2,88497

a. Predictors: (Constant), Nkol

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	87,637	1	87,637	10,529	,012 ^b
	Residual	66,584	8	8,323		
	Total	154,221	9			

a. Dependent Variable: ahtrup

b. Predictors: (Constant), Nkol

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	68,777	4,577		15,028	,000
	Nkol	,078	,024	,754	3,245	,012

a. Dependent Variable: ahtrup

Excluded Variables^a

Model	Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
					Tolerance

	Nkolk	-,308 ^b	-1,268	,245	-,432	,851
	Ntrup	-,192 ^b	-,736	,485	-,268	,845
1	ritokspD	,179 ^b	,746	,480	,271	,988
	rotmaxL	-,254 ^b	-,833	,433	-,300	,601
	rotekspL	-,389 ^b	-1,939	,094	-,591	,998

a. Dependent Variable: ahtrup

b. Predictors in the Model: (Constant), Nkol

3.2 Razprava

Namen naloge je bil ugotoviti, kako se povečuje hitrost leta žoge s podaljševanjem kinetične verige nogometnega strela. Hkrati nas je zanimalo, ali je moč posameznih mišic, ki se vključujejo v kinetično verigo, povezana s hitrostjo strela doseženo pri aktivaciji določenega dela te verige.

Kot smo predvidevali, so hitrosti leta žoge pri vseh merjencih linearno naraščale. Prikaz povprečnih vrednosti kaže skoraj popolno linearnost od strela iz kolena do strela iz zaleta. Zato ne preseneča, da nogometaši v želji po čim močnejšem strelu, izvajajo le-tega iz zaleta, kjer lahko izkoristijo vse mišice, ki sodelujejo pri strelu. Z vidika mehanizma odprte kinetične verige je prav tako razumljivo, da je prenos energije ob morebitni aktivnosti več mišic večji in zato je tudi večja končna vsota energije, ki se v našem primeru prenese na žogo.

Zaradi dejstva, da smo v vzorec vključili le trenirane nogometaše, so pričakovani rezultati še bolj očitni. V primeru netreniranih merjencev, bi morda lahko pričakovali nelinearno premico na grafu.

Po obdelavi podatkov s programom SPSS smo ugotovili, da se hitrosti leta žoge pri strelu iz kolena, kolka in koraka korelacijsko povezujejo. Rezultati korelacij, ki smo jih dobili s Pearsonovim koeficientom so dokazali, da so hitrosti leta žoge pri strelu iz kolka povezane s hitrostmi leta žoge pri strelu iz kolena ter iz koraka. Hitrosti dosežene pri strelu iz zaleta pa so korelacijsko neodvisne.

Rezultati surovih meritev so pokazali, da je bila povprečna hitrost pri strelu iz zaleta 105,15 km/h. Podobne rezultate so prav tako dobili Apriantono, Nunome, Ikegami in Sano (2006). Njihovi merjenci, ki so bili prav tako amaterji ter podobne starosti (povprečna starost 20,0 let), so pri strelu iz zaleta v povprečju dosegali hitrosti 102,24 km/h.

Če se osredotočimo na merjence, ki so odstopali od povprečja, ugotovimo da je merjenec M6 (Tabela 2) dosegel najvišjo hitrost pri strelu iz zaleta 121,7 km/h, vendar pri ostalih vrstah strela ni dosegal izjemnih odstopanj, kar prikazuje Slika 10. To lahko pripišemo različni tehniki strela (kljub temu, da so vsi merjenci izvajali strel s konico športnega copata) in nenazadnje tudi kvaliteti samega igralca. Sklepamo lahko, da znajo merjenci, ki igrajo na višjem nivoju bolje izkoristiti zalet ter celotno kinetično verigo. Glede na to, da so merjenci strel izvajali s konico športnega copata, bi lahko imela tudi obutev pomembno vlogo. Merjenci s tekaškim športnim copatom, ki imajo trši sprednji del, bi lahko dosegali višje hitrosti leta žoge, za razliko od

merjencev z nogometnimi čevlji, kateri prednjega dela nimajo okrepljenega ter tršega. Ti merjenci zaradi morebitne bolečine ali straha pred bolečino morda strela iz zaleta niso izvedli maksimalno.

Pričakovali smo, da bodo merjenci, kateri dosegajo visoke hitrosti že pri strelu iz kolena, dosegali tudi visoke hitrosti žoge pri strelu iz koraka, vendar iz naših rezultatov tega nismo mogli dokazati (Tabela 3). Izrazit pokazatelj je merjenec M2 (Tabela 2), ki je pri strelu iz kolena dosegal najvišje hitrosti, vendar je pri strelu iz koraka dosegel zgolj četrto najvišjo hitrost (Slika 10). Razmišljali smo, da bi lahko deficit pričakovane hitrosti iz koraka, kjer je kinetična veriga izvedena v celoti (izteg kolena, upogib kolka in zasuk trupa) glede na hitrost strela pri najkrajši kinetični verigi (strel samo iz kolena), pokazala na šibkost mišic sukalk trupa. Vendar povezav med prirastkom hitrosti strela pri podaljšanju kinetične verige in močjo mišic, ki so bile dodatno aktivirane, nismo našli.

Razvoj največje sile pri izometričnih napreznjih smo prikazali preko navorov v določenih sklepih. Izračunane navore v Nm za izteg kolena, upogib kolka ter rotacijo trupa smo primerjali z deleži in absolutnimi vrednostmi hitrosti leta žoge pri strelah iz kolena, kolka ter iz koraka. Predvidevali smo, da bodo merjenci, ki so sposobni razviti večjo silo pri iztegu kolena, dosegali tudi višje hitrosti leta žoge pri strelu iz kolena. Enako smo predvidevali za sile pri upogibu kolka s hitrostjo leta žoge pri strelu iz kolka ter za sile pri rotaciji trupa s hitrostjo leta žoge pri strelu iz koraka. Vendar po obdelavi podatkov nismo našli statističnih povezav. Merjenci, ki so pri strelu iz kolena dosegali nadpovprečne hitrosti leta žoge, ni nujno, da so prav tako razvili nadpovprečno silo iztegovalk kolena. Enako smo ugotovili, ko smo primerjali hitrosti leta žoge pri strelu iz kolka s silo upogibalk kolka ter hitrosti leta žoge pri strelu iz koraka s silo sukalk trupa.

Razloge za statistično neujemanje bi lahko pripisali nenaravnemu oziroma nenaučenemu gibanju med izvedbo različnih vrst strelav. Ko smo merjence namestili ob stojalo ter jih imobilizirali po določenih sklepih, smo jih postavili v neznan položaj. Merjenci morebiti niso mogli izkoristiti moči mišic v celoti v takem položaju in zaradi tega izvedba strela ni bila maksimalno izvedena.

Pri analizi navorov pri iztegu kolena smo ugotovili, da so naši merjenci v povprečju dosegali precej manjše vrednosti (187,08 Nm), kot merjenci v raziskavi, ki so jo izvajali Brito, Vasconcellos, Oliveira, Krusturp in Rebelo, (2014). V njihovi raziskavi je kontrolna skupina, ki je bila starostno najbolj podobna naši (20,7 let), sicer z izokinetičnim testiranjem dosegla povprečne vrednosti navorov pri iztegu kolena 204 Nm. Z večjim vzorcem bi imela odstopanja posameznikov manjši vpliv na skupni rezultat, kajti med našimi merjenci sta M4 in M10 (Tabela 2) dosegla največje vrednosti navorov 128,0 Nm oziroma 120,3 Nm, medtem ko so štirje merjenci dosegli vrednosti večje od 204 Nm.

Podobno so ugotovili Naito, Fukui in Maruyama (2012). Njihovi rezultati so pokazali, da je prirastek kinetične energije udarne noge posledica prenosa energije med upočasnjujočim se segmentom (proksimalni – stegno) ter pospešujočim segmentom (distalni – golen), ki ju povzroči nemišična, centrifugalna sila. Iz tega so sklepali, da ima mehanizem prenosa energije večji vpliv na dinamični udarec kot moč, ki jo ustvarijo mišice ter da hkrati boljša koordinacija pri prenosu energije med telesnimi segmenti izboljša nogometni strel.

Glede na to, da so se raziskave nogometnega strela osredotočile predvsem zgolj na gibe spodnjih okončin, so Fullenkamp, Campbell, Laurent in Lane (2015) analizirali gibanje trupa ter zgornjih okončin med izvedbo nogometnega strela. Med drugim so primerjali rotacijo trupa pri strelu pri netreniranih in treniranih nogometaših. Ugotovljeno je bilo, da je največja hitrost rotacije trupa pozitivno korelacijsko povezana s hitrostjo leta žoge pri strelu iz zaleta. Ta študija tako potrjuje kako pomembno je gibanje v trupu pri izvedbi nogometnega strela.

Iz tega razloga smo v našo raziskavo prav tako vključili gibanje trupa ter izračunali navor pri rotaciji trupa v levo in desno stran. Iskali smo statistično povezavo med udarno nogo ter močjo sukalk trupa, ki je nismo našli. Poleg tega smo ugotovili, da je bila izometrična moč sukalk trupa v eno in drugo smer podobna, kar je iz vidika uravnoveženosti telesa pričakovano in zaželeno. V kolikor bi našli razlike med močjo sukalk leve in desne strani, predvidevamo da bi bila verjetnost poškodb pri takih posameznikih tudi večja.

Rezultati regresijske analize v naši raziskavi so pokazali, da je spremenljivka največji navor v kolenu pojasnila 57% variance kriterija (končne hitrosti leta žoge pri strelu iz koraka), medtem ko prispevek ostalih spremenljivk k pojasnjevanju variance kriterija ni bil statistično značilen.

Ti rezultati so v skladu z dognanji Sinclaira idr. (2014), ki so z regresijsko analizo ugotavljali tehnične vidike nogometnega strela v povezavi s hitrostjo leta žoge. S pomočjo 3D kinematike spodnjih okončin so analizirali podatke 22 merjencev, ki so maksimalno izvedli nogometni strel in ugotovili, da je samo hitrost iztega kolena udarne noge statistično pojasnjevala hitrost leta žoge.

Pri strelu iz kolena so naši merjenci dosegali že od 30,8% do 45,1% končne hitrosti dosežene pri strelu iz zaleta (Tabela 2), potem pa se je ta hitrost s podaljševanjem kinetične verige oziroma dodajanjem sodelujočih mišic povečevala zgolj še za okrog 20%. Relativni delež končne hitrosti je torej največji pri aktivaciji iztegovalk kolena, kar lahko dodatno pojasni pomembnost tega dela kinetične verige in seveda v njem vključenih mišic.

3.2.1 Preverjanje hipotez

- H1: S podaljševanjem kinetične verige se bo povečala hitrost strela na gol

Hipotezo lahko sprejmemo, saj z vključevanjem več mišic pri strelu hitrost leta žoge linearno narašča.

- H2: Največja izometrična moč mišic iztegovalk kolena, upogibalk kolka in sukalk trupa bo povezana s prirastkom hitrosti kot posledice podaljšanja kinetične verige, v segmentih kjer se te mišice vključujejo v kinetično verigo

Hipotezo lahko le delno sprejmemo, kajti med navorom pri iztegu kolena in hitrostjo leta žoge pri strelu iz kolena, navorom pri upogibu kolka in hitrostjo leta žoge pri strelu iz kolka ter navorom pri rotaciji trupa in hitrostjo leta žoge pri strelu iz koraka ni bilo statistično značilnih korelacij. So pa naši rezultati dokazali korelacijo med navorom pri iztegu kolena in hitrostjo

leta žoge pri strelu iz koraka. Prav tako je regresijska analiza pokazala, da lahko z največjim navorom kolena pojasnimo 57% variance hitrosti strela iz koraka.

- H3: Na podlagi rezultatov meritev izometričnih naprežanj obravnavanih mišic in doseženih hitrosti žoge pri različno dolgih kinetičnih verigah, bo mogoče ugotoviti deficit v kinetični verigi strela na gol pri posameznikih

Hipotezo lahko delno sprejmemo, kajti neposrednih povezav med navori posameznih mišic in hitrostmi leta žoge pri aktivaciji teh mišic v kinetično verigo nismo našli. Na podlagi hitrosti sicer lahko ugotavljamo deficit v kinetični verigi, ki se kaže kot odstopanje od idealnega linearnega povečevanja hitrosti. Navorov pri iztegu kolena, upogibu kolka ter rotaciji trupa med sabo ne moremo sešteti, ker ne gre za verigo in so mišice vsakič izolirane. Iz tega razloga neposredna primerjava deležev hitrosti in deležev navorov pri različno dolgi kinetični verigi ni možna.

3.2.2 Pomanjkljivosti raziskave

Kot vsaka raziskava ima tudi naša nekaj pomanjkljivosti. Merjenci niso bili opozorjeni na vrsto obutve, tako so eni izvajali nogometne strele v tekaških športnih copatih, drugi pa v nogometnih. Ker so žogo udarjali s konico čevlja, je trdnejši prednji del tekaških copat morda imel vpliv na večjo hitrost leta žoge. Največji vpliv bi tekaški športni copati lahko imeli pri strelu iz zaleta, kjer je let žoge dosegal najvišje hitrosti. Pri nogometnih copatih prednji del ni tako trd in je kontakt z žogo lahko za merjence boleč in neprijeten, kar bi lahko vplivalo na nižje hitrosti leta žoge. Najustrezneje bi bilo, da bi vsi merjenci opravljali nogometne strele v tekaških športnih copatih s trdnejšim prednjim delom.

Da bi ugotovili koliko določene mišice doprinesejo k hitrosti leta žoge pri določenih izvedbah strela smo največjo izometrično silo želeli primerjati z deleži hitrosti leta žoge, vendar glede na to, da navorov pri iztegu kolena, upogibu kolka ter rotaciji trupa med sabo ne moremo sešteti, merjenje največje izometrične sile morda ni bila najbolj primerna spremenljivka, ki smo jo merili ter proučevali. Na podlagi naših rezultatov tako ni bilo mogoče predvideti ali določeni nogometaši pri strelah ne dosegajo visokih hitrosti leta žoge zaradi slabše razvite določene mišične skupine ali pa gre le za neizkoriščen del kinetične verige. Morda bi bil prirastek navora bolj primerna spremenljivka kot pa največji navor. Verjetno bi bilo bolje tudi, v kolikor bi merili moč mišic v dinamičnih pogojih. Morda bi bilo primernejše izokinetično merjenje moči, kajti v takih pogojih bi se bolj približali naravni izvedbi nogometnega strela.

Eden od omejitvenih dejavnikov raziskave je bil tudi vzorec merjencev. Verjetno bi v primeru, da bi povečali vzorec merjencev ter v njega vključili tako nogometaše kot tudi posameznike, ki se niso nikoli resneje ukvarjali z nogometom, bile razlike med njimi večje. Na ta način bi iz pridobljenih rezultatov morda lahko lažje ugotavljali korelacije. Hkrati bi z večjim številom merjencev dobili natančnejše podatke.

4. Sklep

Nogomet velja kot najbolj priljubljen šport na svetu, zato ne preseneča vedno večji interes po njegovem proučevanju ter raziskovanju. Razvoj ter izpopolnjevanje nogometne igre privablja ogromne množice navijačev na stadione, ki spremljajo in občudujejo kvalitete nogometnih zvezdnikov. Za nogometaša na najvišjem nivoju velja, da mora obvladati vse tehnične ter taktične elemente nogometne igre. Nogometni strel je zagotovo en izmed ključnih dejavnikov, ki razlikuje vrhunške nogometaše od povprečnih, zmagovalce od poražencev.

Kljub vedno večjem proučevanju tega nogometnega elementa, še vedno primanjkuje literature, ki bi bila v pomoč športnim pedagogom ter trenerjem pri ustvarjanju vrhunskih nogometašev. Velika večina dosedanjih raziskav je nogometni strel proučevala kot eno celoto med sabo povezanih mišic, ki izvajajo gibanje.

Predmet proučevanje ter raziskovanja v naši raziskavi je bil razčleniti ter podrobneje raziskati nogometni strel. Želeli smo ugotoviti kateri dejavnik ima največji vpliv, da je hitrost leta žoge pri strelu najvišja. Celotno kinetično verigo nogometnega strela smo razdelili na 3 dele. Postopno smo vključevali v verigo več mišic, ki so sodelovale pri strelu ter ugotavljali kako se spreminja hitrost leta žoge ter kakšen vpliv ima moč posameznih skupin mišic. Na moč mišic, ki izvajajo strel smo se osredotočili v želji, da bi pojasnili zakaj določeni nogometaši lahko dosežejo visoke hitrosti leta žoge pri strelu, drugi pa tega niso sposobni.

Naši rezultati so potrdili pričakovano, da s podaljševanjem kinetične verige pri strelu, linearno narašča tudi hitrost leta žoge. Pri merjenju največje izometrične sile, katero smo prikazali preko navorov v sklepih, nismo prišli do takšnih ugotovitev, kot smo domnevali. Po naših rezultatih največji navor pri izometričnem iztegu kolena, upogibu kolka ter rotaciji trupa ni povezan s hitrostjo leta žoge pri strelu iz kolena, kolka ter koraka.

Zanimivo bi bilo ponoviti raziskavo z večjim vzorcem merjencev. Pri večjem vzorcu odstopanja določenih merjencev nebi toliko vplivala na skupen rezultat in bi morebiti dokazali, da močne iztegovalke kolena korelacijsko sovpadajo s hitrostjo leta žoge pri strelu iz kolena ter da močne upogibalke kolka vplivajo na hitrost žoge pri strelu iz kolka, kot tudi, da imajo močne sukalke trupa vpliv na hitrost žoge pri strelu iz koraka.

Po podrobni obdelavi rezultatov, smo prišli do pomembne ugotovitve. Dokazali smo namreč, da navor pri iztegu kolena statistično pojasnjuje hitrost leta žoge pri strelu iz koraka. Tudi sicer hitrost žoge izmerjena pri strelu samo iz kolena predstavlja okrog 40% končne hitrosti dosežene pri strelu iz zaleta. Iz tega lahko sklepamo, da so za doseganje visokih hitrosti leta žoge pri strelu vendarle ključnega pomena močne iztegovalke kolena.

Ta ugotovitev potrjuje, kako pomembno je vključevanje treninga moči v trenažni proces. Trenerji, ki želijo izpopolniti strel svojih nogometašev, bi se pri treningu moči tako morali osredotočati predvsem na mišice iztegovalke kolena.

Raziskavo bi bilo hkrati smiselno izvesti z merjenjem moči mišic v dinamičnih pogojih. Taki pogoji se bolj približajo naravnim okoliščinam, s katerimi se nogometaši soočajo med tekmo ali treningom. Ne smemo pozabiti tudi na malenkosti, kot so vrsta obutve, stopnja treniranosti ali kvaliteta samega nogometaša, ki lahko vidno vplivajo na rezultate.

Kljub nekaterim pomanjkljivostim, sem mnenja, da smo v raziskavi prišli do zanimivih ter hkrati pomembnih ugotovitev in verjamem, da lahko rezultati naših meritev koristijo pri nadaljnjem procesu izpopolnjevanja nogometnega strela ter nogometa nasploh.

5. VIRI

- Approximately 250 million footballers worldwide. (25.4.2015). FIFA. Pridobljeno iz https://web.archive.org/web/20060915133001/http://access.fifa.com/infoplus/IP-199_01E_big-count.pdf
- Apriantono, T., Nunome, H., Ikegami, Y. in Sano, S. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *Journal of Sports Sciences*, 24, 951-960.
- Biewener, A. A. (2003). *Animal Locomotion. Oxford Animal Biology Series*. New York, NY: Oxford University Press.
- Bosco, C., Mognoni, P. in Luthanen, P. (1983). Relationship between isokinetic performance and ballistic movement. *European Journal of Applied Physiology*, 51, 357-364.
- Brito, J., Vasconcellos, F., Oliveira, J., Krusturup, P. in Rebelo, A. (2014). Short-term performance effects of three different low-volume strength-training programmes in college male soccer players. *Journal of human kinetics*, 40, 121-128.
- Brophy, R. H., Backus, S. I., Pansy, B. S., Lyman, S. in Williams, R. J. (2007). Lower extremity muscle activation and alignment during the soccer instep and side-foot kicks. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 37(5), 260-268.
- Cabri, J., DeProft, E., Dufour, W. in Clarys, J. P. (1988). The relation between muscular strength and kick performance. V T. Reilly, A. Lees, K. Davids in W. J. Murphy (ur.), *Science and Football* (str. 186-193). London: E. & F.N. Spon
- Cankar, A. (2006). *Kinetična veriga pri teniškem servisu*. (Diplomsko delo). Fakulteta za šport, Ljubljana.
- Elsner, B. (2004). *Nogomet – Teorija igre*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Fullenkamp, A. M., Campbell, B. M., Laurent, C. M. in Lane, A. P. (v tisku). The Contribution of Trunk Axial Kinematics to Post-Strike Ball Velocity During Maximal in-Step Soccer Kicking. *Journal of Applied Biomechanics*.
- Gissis, I., Papadopoulos, C., Kalapotharakos, V. I., Sotiropoulos, A., Komsis, G. in Manolopoulos, E. (2006). Strength and speed characteristics of elite, subelite, and recreational young soccer players. *Research in Sports Medicine*, 14(3), 205-214.
- Groppel, J.L. (1992). *High tech tennis*. Champaign, Illinois: Leisure Press.
- Hochmuth, G. (1984). *Biomechanics of Athletic Movement*. Berlin: Sportverlag.
- Kellis, E. in Katis, A. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(2), 154-165.

- Manolopoulos, E., Katis, A., Manolopoulos, K., Kalapotharakos, V. in Kellis, E. (2013). Effects of a 10-week resistance exercise program on soccer kick biomechanics and muscle strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(12), 3391-3401.
- Naito, K., Fukui, Y. in Maruyama, T. (2012). Energy redistribution analysis of dynamic mechanisms of multi-body, multi-joint kinetic chain movement during soccer instep kicks. *Human movement science*, 31(1), 161-181.
- Neilson, P.J. in Jones, R. (2005). Dynamic Soccer Ball Performance Measurement. V T. Reilly, J. Cabri in D. Araújo (ur.), *Science and Football* (str. 21-27). London: Taylor & Francis.
- Perrine, J.J. in Edgerton, V. R. (1975). Isokinetic anaerobic ergometry. *Medicine and Science in Sports*, 7(1), 78.
- Pistotnik, B. (2011). *Osnove gibanja v športu: osnove gibalne izobrazbe*. Ljubljana: Fakulteta za šport.
- Sinclair, J., Fewtrell, D., Taylor, P. J., Bottoms, L., Atkins, S. in Hobbs, S. J. (2014). Three-dimensional kinematic correlates of ball velocity during maximal instep soccer kicking in males. *European Journal of Sports Science*, 14(8), 799-805.
- Sircar, S. (2008). *Principles of Medical Physiology (1st ed.)*. New York, NY: Thieme.
- Sterzing, T., Lange, J. S., Wächtler, T., Müller, C. in Milani, T. L. (2009). Velocity and accuracy as performance criteria for three different soccer kicking techniques. V 27. *International Society of Biomechanics in Sports Conference* (str. 243-246). Ireland: Limerick.
- Stevens, R. (1980). Isokinetic vs isotonic training in the development of lower body strength and power. *Scholastic Coach*, 49, 74-76.
- Štirn, I. (2009). Tehnika osnovnega vaterpolskega meta. *Šport*, 57(1/2), 43-46.
- Verdenik, Z. (1999). *Model igre slovenske nogometne reprezentance*. Ljubljana: Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Weineck, J. (1997) *Fußballtraining. Teil 1: Konditionstraining des Fussballspielers*. Perimed: Spitta Verlag.
- Widmaier, E. P., Raff, H. in Strang K. T. (2010). *Vander's Human Physiology: The Mechanisms of Body Function (12th ed.)*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Zatsiorsky, V. M. (1998). *Kinematics of human motion*. Champaign (IL): Human Kinetics.
- Zmajić, H. (2005). *Teniska tehnika*. Seminar, Ljubljana: Fakulteta za šport, 19-20 Marec 2005.