

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

KLEMEN ROVAN

OPREDELITEV KINEMATIČNEGA MODELA NOGOMETAŠEV
PRI VARANJU Z ŽOGO

DOKTORSKA DISERTACIJA

LJUBLJANA, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT

KLEMEN ROVAN

OPREDELITEV KINEMATIČNEGA MODELA NOGOMETAŠEV
PRI VARANJU Z ŽOGO

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor: izr. prof. dr. Matej Supej

LJUBLJANA, 2015

Doktorska disertacija z naslovom Opredelitev kinematičnega modela nogometašev pri varanju z žogo je rezultat lastnega raziskovalnega dela pod mentorstvomizr. prof. dr. Mateja Supeja.

Klemen Rován

ZAHVALA

Najbolj se zahvaljujem Mateju Supeju za mnoge diskusije in nasvete pri znanstveno-raziskovalnem delu.

Zahvaljujem se Otmarju Kugovniku, ki mi je omogočil začetek znanstveno-raziskovalnega dela na tem projektu.

Zahvaljujem se tudi Roku Zorku in nogometašem NK Krško, ki so sodelovali pri eksperimentalnem postopku.

Opredelitev kinematičnega modela nogometašev pri varanju z žogo

Klemen Rován

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana 2015

Strani: 121, preglednice: 13, slike: 27 , viri in literatura: 115

Ključne besede: kinematika, obramba, nogomet, sprememba smeri, varanje z žogo

IZVLEČEK

Ena od pomembnih aktivnosti v nogometni igri je varanje z žogo mimo obrambnega igralca. Da bi razumeli pogoje uspešnosti napadalca oz. obrambnega igralca v igri ena na ena je bilo potrebno opredeliti gibanje nogometašev. Cilj je bil opredeliti, kateri koraki so potrebni za pospeševanje in zavijanje brez žoge za različne kote iz različnih začetnih hitrosti. Opredeliti smo želeli tudi pospeševanje naravnost iz različnih začetnih hitrosti in pospeševanje z zavijanjem z žogo. Naslednji cilj je bil simulirati napadalčevo varanje z žogo in reakcijo obrambnega igralca, da bi ugotovili pogoje za njuno uspešnost. V raziskavi je sodelovalo osem nogometašev. Brez žoge in z žogo so iz mirovanja, počasnega teka in srednje hitrega teka pospeševali in zavijali na nogometnem igrišču z naravno travo. Izvedli so tudi pospeševanje naravnost iz različnih začetnih hitrosti. Meritve so bile izvedene s pomočjo tehnično dovršenega globalnega navigacijskega satelitskega sistema s frekvenco zajemanja podatkov 20 Hz in natančnostjo 1 cm. Za obdelavo pridobljenih podatkov smo uporabili MATLAB verzije R2007a, v katerem smo podatke filtrirali s Kalmanovim filtrom. V MATLAB-u smo izračunali pospeške, hitrosti in čase za vsak korak posebej ter izvedli simulacijo varanj z žogo mimo obrambnega igralca do začetne razdalje 3 m. Ugotovili smo, da se je pri pospeševanjih z manjšimi spremembami smeri (30° ,

60°, 90°) iz počasnega teka; (30°) iz srednje hitrega teka prehod v pospeševanje in zavijanje z znižanjem maksimalne višine T2-T4 dela hrbtenice (-0.10 m, -0.08 m, -0.16 m; -0.07 m) pojavil v koraku pred korakom v stran. Prehod v pospeševanje z večjimi spremembami smeri (120°, 150°, 180°) iz počasnega teka; (60°, 90°, 120°, 150°, 180°) iz srednje hitrega teka se je pojavil že nekoliko prej, in sicer dva koraka pred korakom v stran, ko se je maksimalna višina dela hrbtenice T2-T4 znižala za (-0.07 m, -0.10 m, -0.15 m; -0.05 m, -0.05 m, -0.10 m, -0.13 m, -0.14 m). Iz mirovanja je pospeševanje s spremembo smeri za kot 30°, 180° trajalo do 1. koraka po koraku v stran; 60° do 2. koraka po koraku v stran in 90°, 120°, 150° do 3. koraka po koraku v stran, ko so bile prisotne spremembe smeri v zaključnem koraku (23°, 84°; 4°; 5°, 5°, 6°). Iz počasnega teka je pospeševanje s spremembo smeri za kot 30°, 180° trajalo do 2. koraka po koraku v stran, 60° in 150° do 3. koraka po koraku v stran in 90°, 120° do 4. koraka po koraku v stran, ko so bile prisotne spremembe smeri v zaključnem koraku (3°, 58°; 6°, 5°; 4°, 3°). Zaključek spreminjanja smeri pri pospeševanju z zavijanjem se je pri začetkih iz srednje hitrega teka zgodil v istih korakih kot pri začetkih iz počasnega teka. Simulacija igre ena na ena je pokazala, da se je s povečevanjem začetne hitrosti napadalca povečevala najmanjša smiselna začetna razdalja, na kateri je bilo smiselno izvesti varanja z žogo, in je znašala od 0.5 m do 0.9 m. Možnosti za uspeh napadalca so se povečevale z večanjem začetne razdalje, na kateri je napadalec izvedel varanje z žogo. Izjemo so predstavljali primeri, ko je obrambni igralec miroval, saj so se pri začetkih napadalca iz mirovanja po 1.2 m in pri začetkih iz počasnega teka po 1.9 m možnosti za uspeh napadalca zmanjševale. Izkazalo se je, da je imel napadalec največ možnosti za uspeh, če je obrambni igralec miroval ali če je obrambni igralec tekkel in napadalec začel z varanjem z žogo na večji začetni razdalji. Za napadalca, ki je miroval, je bilo najugodnejše, če je izvedel varanje z žogo pod ostrejšim kotom. Če se je napadalec gibal s počasnim tekom, izbira kota zavijanja ni bila tako pomembna, medtem ko je bilo pri gibanju s srednje hitrim tekom zanj boljše, če je izvedel varanje z žogo pod manj ostrim kotom. Za mirujočega obrambnega igralca je bilo pri manjših začetnih razdaljah najprimernejše, da je reagiral čim bolj naravnost proti napadalcu, za obrambnega igralca, ki se je gibal s počasnim ali srednje hitrim tekom, nameravana smer reakcije ni bila pomembna. Na večjih začetnih razdaljah se je s povečevanjem hitrosti obrambnega igralca zmanjševal najprimernejši kot spremembe smeri obrambnega igralca. Če je miroval, je bil najbolj učinkovit kot spremembe smeri od

90° do 120°, če se je gibal s počasnim tekom od 60° do 90° in če se je gibal s srednje hitrim tekom 30°. Izbrani kinematični model varanja z žogo lahko služi kot orodje za preverjanje in izboljšanje sposobnosti oz. učinkovitosti izvedbe gibanja pri igri ena na ena.

Definition of kinematic model of soccer players dribbling the ball past the defender

Klemen Rován

University of Ljubljana, Faculty of Sport, Ljubljana 2015

Pages: 121, Tables: 13, Figures: 27 , Literature: 115

Keywords: defense, dribbling, kinematics, soccer, turn

ABSTRACT

One of the most important activities in a soccer game is dribbling the ball past the defense. To understand the performance conditions of the attacker or defensive player in one-on-one game, it was necessary to define the movement of soccer players. The aim was to identify which steps are needed to accelerate and turn at different angles and at different approach speeds without the ball. Furthermore we also wanted to define acceleration straightforward from different approach speeds and acceleration and turning with the ball. The next goal was to simulate attacker while dribbling the ball and the reaction from the defense to determine the conditions for their success. Eight soccer players participated in the study. Without the ball and with the ball from standing, jogging and running they accelerated with turning on the soccer field with natural grass. They also performed the acceleration straightforward from different approach speeds. Measurements were performed using technically sophisticated Global Satellite Navigation System with a frequency of 20 Hz data acquisition and an accuracy of 1 cm. For the processing of the acquired data, we used MATLAB version R2007a in which the data were filtered with a Kalman filter. In MATLAB, we calculated the acceleration, speed and time for each step separately

and carried out simulation of dribbling with the ball past the defense to the approach distance of 3 m. We have found that for acceleration with only slight changes in direction (30 °, 60 °, 90 °) from jogging; (30 °) from running the transition of acceleration while turning by lowering the maximum amount of T2-T4 spine (-0.10 m, -0.08 m, -0.16 m, -0.07 m) appeared in the step prior to the side-step. The transition to the acceleration of major changes in direction (120 °, 150 °, 180 °) from jogging; (60 °, 90 °, 120 °, 150 °, 180 °) from running has appeared even earlier, in two steps prior to the side-step when the maximum height of the spine T2 T4 decreased to (-0.07 m, -0.10 m, -0.15 m, -0.05 m, -0.05 m, -0.10 m, -0.13 m, -0.14 m). From standing acceleration while turning at angles 30 °, 180 ° lasted to the first step after the side-step; 60 ° to the second step following the side-step and 90 °, 120 °, 150 ° to the third step following the side-step when they were present change of direction in the final step (23 °, 84 °; 4 °; 5 °, 5 ° and 6 °). From jogging acceleration while turning at angles 30 °, 180 ° lasted until the second step following the side-step; 60 ° and 150 ° to the third step following the side-step and 90 °, 120 ° to the fourth step following the side-step when there were present changes of direction in the final step (3 °, 58 °; 6 °, 5 °; 4 °, 3 °). Completion of changing the direction of the acceleration while turning at beginnings from running took place in the same steps as at the beginnings from jogging. Simulation of one-on-one game showed that by increasing the approach speed of the attacker makes sense to increase the minimum approach distance from 0.5 m to 0.9 m, at which it was reasonable to change direction with the ball. Chances of success of the attacker were increased with increasing approach distance at which the attacker changed direction with the ball. An exception represented cases where the defensive player is standing still because the beginnings of the attacker from standstill after 1.2 m and the beginnings of the attacker from jogging after 1.9 m reduced attacker's chance of success. It turned out that the attacker had the best chance of success if a defensive player was standing still or when the defensive player was running and the attacker started turning with the ball on a higher approach distance. To attacker, which was standing still was the most favorable, if turning was performed with the ball under sharper angle. If the attacker moved with jogging choice of turning angle was not as important, while the movement of the running was for him better if turning was performed with the ball under less sharp angle. For a standing defense player was at small approach distances most appropriate to react as straight as possible against an attacker, for

defense player, which moved with jogging or running the intended direction of the reaction was not significant. At larger approach distances, the increase of defense player's speed decreased the most appropriate turning angle of defense player. If defense player was standing still the most effective turning angles were from 90 ° to 120 °, if defense player was jogging the most effective turning angles were from 60 ° to 90 ° and if defense player was running the most effective turning angle was 30 °. Chosen kinematic model of accelerating while turning with the ball can serve as a tool to check and improve the ability or effectiveness of performed movements that are present in the one-on-one game.

KAZALO

IZVLEČEK.....	1
ABSTRACT.....	4
KAZALO.....	7
KAZALO SLIK.....	9
KAZALO PREGLEDNIC.....	12
RAZLAGA OZNAK.....	13
1. UVOD.....	15
1.1 Aktivnosti brez žoge in z žogo.....	15
1.1.1 Aktivnosti brez žoge.....	16
1.1.2 Aktivnosti z žogo.....	19
1.2 Merjenje gibanja nogometašev.....	21
2. PREDMET IN PROBLEM.....	24
2.1 OPREDELITEV VARANJA Z ŽOGO.....	24
2.1.1 Obrambni igralec pri varanju z žogo.....	24
Predobdobje.....	25
Reakcijski čas.....	26
Gibalni čas.....	27
Spreminjanje hitrosti z zavijanjem.....	27
2.1.2 Napadalec pri varanju z žogo.....	29
3 CILJI.....	30
4 HIPOTEZE.....	31
5 METODE.....	32
5.1 VZOREC MERJENCEV.....	32
5.2 MERSKI POSTOPKI.....	32
5.3 MERILNE NAPRAVE.....	36
5.4 ANALIZA PODATKOV IN BIOMEHANSKO MODELIRANJE VARANJA Z ŽOGO.....	37
5.5 STATISTIKA.....	42
6 REZULTATI.....	42
6.1 ANALIZA POSPEŠEVANJA NARAVNOST IN POSPEŠEVANJA Z ZAVIJANJEM.....	43
6.1.1 ZAČETEK POSPEŠEVANJA NARAVNOST OZ. POSPEŠEVANJA Z ZAVIJANJEM.....	43

6.1.2	KORAKI S PRISOTNOSTJO SPREMEMBE SMERI MED POSPEŠEVANJEM IN ZAVIJANJEM IZ RAZLIČNIH ZAČETNIH HITROSTI.....	44
6.2	OPREDELITEV GIBANJA NOGOMETAŠEV	50
6.2.1	POSPEŠKI IN ČAS, POTREBEN ZA IZVEDBO KORAKOV PRI POSPEŠEVANJU Z ZAVIJANJEM IZ RAZLIČNIH ZAČETNIH HITROSTI.....	50
6.2.2	POSPEŠKI IN ČAS, POTREBEN ZA IZVEDBO KORAKOV PRI POSPEŠEVANJU IN ZAVIJANJU PO VARANJU Z ŽOGO	54
6.2.3	POSPEŠEVANJE NARAVNOST.....	56
6.3	SIMULACIJA VARANJA Z ŽOGO MIMO OBRAMBNEGA IGRALCA.....	56
6.3.1	Najmanjša smiselna začetna razdalja pri varanju z žogo.....	56
6.3.2	Razlika v času prihoda v točko srečanja med napadalcem in obrambnim igralcem, če obrambni igralec spremeni smer za najustreznejši kot.....	57
6.3.3	Za napadalca najugodnejša začetna razdalja pri varanju z žogo.....	76
6.3.4	Primerjava uspešnosti varanj V45 in V60.....	77
7	RAZPRAVA	79
7.1	ANALIZA POSPEŠEVANJA NARAVNOST IN POSPEŠEVANJA Z ZAVIJANJEM	79
7.1.1	ZAČETEK POSPEŠEVANJA NARAVNOST OZIROMA POSPEŠEVANJA Z ZAVIJANJEM.....	79
7.1.2	KORAKI S PRISOTNOSTJO SPREMEMBE SMERI MED POSPEŠEVANJEM Z ZAVIJANJEM IZ RAZLIČNIH ZAČETNIH HITROSTI.....	80
7.2	KINEMATIČNI MODEL VARANJA Z ŽOGO.....	83
7.2.1	Pogoji uspešnosti napadalca	84
7.2.2	Najprimernejši koti spremembe smeri obrambnega igralca.....	86
7.2.3	Primerjava med uspešnostjo izvedbe V45 in V60	88
7.3	OMEJITVE NALOGE	88
8	SKLEP	89
8.1	IZVIRNI PRISPEVKI ZA ZNANOST IN STROKO	92
9	LITERATURA.....	93
10	OBJAVLJEN ČLANEK NA TEMO DOKTORSKE NALOGE	103

KAZALO SLIK

Slika 1: Kritični dogodki, vpleteni v paradigmi RČ (reakcijski čas). Valovita sled kaže hipotetični EMG (elektromiogram) določene mišice (Botwinick & Thompson, 1966; Schmidt, 1999; Weiss, 1965).....	25
Slika 2: Skica gibanja napadalca in obrambnega igralca pred spremembo smeri in po njej, d_{no} - oddaljenost napadalca in obrambnega igralca ob začetku varanja z žogo, s_z – trajektorija gibanja v obdobju zamujanja, s_n in s_o - trajektorija gibanja napadalca oz. obrambnega igralca, α_n in α_o – kot, za katerega sta napadalec oz. obrambni igralec med pospeševanjem oz. zaviranjem izvedla spremembo smeri gibanja.	26
Slika 3: Poligon, na katerem so se iz različnih začetnih hitrosti izvajala pospeševanja z zavijanjem za kote 30° , 45° in 60° glede na začetno smer gibanja.....	34
Slika 4: Poligon, na katerem so se iz različnih začetnih hitrosti izvajala pospeševanja z zavijanjem za kote 90° , 120° , 150° in 180° glede na začetno smer gibanja.	35
Slika 5: RTK GNSS sprejemnik, zapisovalnik podatkov in antena v majhnem nahrbtniku.....	36
Slika 6: (a) Koraki pospeševanja in zavijanja iz mirovanja in (b) koraki pospeševanja in zavijanja iz letečega starta. Legenda: kprs – korak pred korakom v stran, kpos – korak po koraku v stran.	39
Slika 7: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar igralca na začetku mirujeta in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	58
Slika 8: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar igralca na začetku mirujeta in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	59
Slika 9: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se mirujočemu napadalcu približuje obrambni igralec v počasnem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	60
Slika 10: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se mirujočemu napadalcu približuje obrambni igralec v počasnem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	61

Slika 11: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se mirujočemu napadalcu približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	62
Slika 12: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se mirujočemu napadalcu približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	63
Slika 13: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec giblje s počasnim tekom proti mirujočemu obrambnemu igralcu in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	64
Slika 14: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec giblje s počasnim tekom proti mirujočemu obrambnemu igralcu in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	65
Slika 15: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec in obrambni igralec drug drugemu približujeta v počasnem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	66
Slika 16: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec in obrambni igralec drug drugemu približujeta v počasnem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	67
Slika 17: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalcu, ki se giblje v počasnem teku, približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	68
Slika 18: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalcu, ki se giblje v počasnem teku, približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	69
Slika 19: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec giblje s srednje hitrim tekom proti	

mirujočemu obrambnemu igralcu in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	70
Slika 20: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec giblje s srednje hitrim tekom proti mirujočemu obrambnemu igralcu in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	71
Slika 21: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec v srednje hitrem teku približuje obrambnemu igralcu, ki se giblje v počasnem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	72
Slika 22: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec v srednje hitrem teku približuje obrambnemu igralcu, ki se giblje v počasnem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	73
Slika 23: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalcu, ki se giblje v srednje hitrem teku, približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	74
Slika 24: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalcu, ki se giblje v srednje hitrem teku, približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.	75
Slika 25: Minmaksčr, če napadalec izvede varanje z žogo iz mirovanja, pri čemer obrambni igralec reagira z zamujanjem iz različnih začetnih hitrosti.	77
Slika 26: Minmaksčr, če napadalec izvede varanje z žogo iz počasnega teka, pri čemer obrambni igralec reagira z zamujanjem iz različnih začetnih hitrosti.....	78
Slika 27: Minmaksčr, če napadalec izvede varanje z žogo iz srednje hitrega teka, pri čemer obrambni igralec reagira z zamujanjem iz različnih začetnih hitrosti.....	78

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povprečna razlika v maksimalni višini T _{2,4} telesa med dvema zaporednima korakoma.	44
Preglednica 2: Povprečni kot zavijanja, standardni odklon v korakih med pospeševanjem naravnost in med pospeševanjem in zavijanjem iz mirovanja.	45
Preglednica 3: Povprečna sprememba smeri in standardni odklon v korakih med pospeševanjem naravnost in med pospeševanjem in zavijanjem iz počasnega teka.	46
Preglednica 4: Povprečni kot zavijanja in standardni odklon v korakih med pospeševanjem in zavijanjem iz teka.	47
Preglednica 5: Korelacija med nameravanim kotom zavijanja in dejansko povprečnim kotom zavijanja pri opazovanih korakih med pospeševanjem v smeri naravnost in med pospeševanjem z zavijanjem iz različnih začetnih hitrosti.	48
Preglednica 6: Korelacija med začetno hitrostjo in spremembo smeri pri opazovanih korakih med pospeševanjem v smeri naprej ali pospeševanjem z zavijanjem.	49
Preglednica 7: Povprečni vzdolžni in prečni pospešek, čas izvedbe koraka v korakih med pospeševanjem naravnost in pospeševanjem in zavijanjem iz mirovanja.	51
Preglednica 8: Povprečni vzdolžni in prečni pospešek, čas izvedbe koraka v korakih med pospeševanjem in zavijanjem iz počasnega teka.	52
Preglednica 9: Povprečni vzdolžni in prečni pospešek, čas izvedbe koraka v korakih med pospeševanjem in zavijanjem iz srednje hitrega teka.	53
Preglednica 10: Povprečni vzdolžni in prečni pospešek, čas izvedbe koraka v korakih med izvedbo V60.	54
Preglednica 11: Povprečni vzdolžni in prečni pospešek, čas izvedbe koraka v korakih med izvedbo V45.	55
Preglednica 12: Spremenljivke maksimalnega pospeševanja naravnost iz mirovanja po začetku koraka, ki sledi uvodnemu koraku, do maksimalne hitrosti teka na razdalji 10 m.	56
Preglednica 13: Za napadalca najugodnejše začetne razdalje pri izvedbi varanja z žogo, ko obrambni igralec reagira pod zanj najugodnejšim kotom.	76

RAZLAGA OZNAK

a_{kvz}, a_{kpr}	vzdolžni in prečni pospešek za izbrani korak
α_n, α_o	kot za katerega sta napadalec oz. obrambni igralec med pospeševanje oz. zaviranjem izvedla spremembo smeri gibanja
dt_k	trajanje koraka
d_{no}	razlika med napadalcem in obrambnem igralcem v času prihoda v točko srečanja
dv_{kvz}, dv_{kpr}	sprememba hitrosti v vzdolžni in prečni smeri za izbrani korak
$d\varphi_k$	razlika v smeri gibanja na koncu dveh zaporednih korakov
DGPS	diferencialni globalni sistem pozicioniranja
d_{no}	oddaljenost napadalca in obrambnega igralca ob začetku varanja z žogo
f, σ	koeficienti Kellerjevega modela
GNSS	globalni navigacijski satelitski sistem
GPS	globalni sistem pozicioniranja
kprs	korak pred korakom v stran
kpos	korak po koraku v stran
Maksčr	maksimalna vrednost časovnih razlik do točke srečanja glede na simulirane spremembe smeri obrambnega igralca pri določeni začetni razdalji
Minmaksčr	minimalno vrednost maksimalnih časovnih razlik do točke srečanje glede na začetne razdalje, kjer trajektoriji gibanja napadalca niso sekale daljice začetnih krajnih točk obrambnega igralca in je obrambni igralec reagiral za najbolj učinkovit kot
Nss	nameravana sprememba smeri
Pov	povprečje
Povss	povprečna razlika v maksimalni razliki T2,4
Pzach	povprečna začetna hitrost
Pzacs	povprečna začetna smer
K1užž	korak prvega udarca po žogi pri zavijanju
kpos	korak po koraku v stran

RČ	reakcijski čas
RTK	kinematika v realnem času
s_z	trajektorija gibanja v obdobju zamujanja
s_n, s_o	trajektorija gibanja napadalca oz. obrambnega igralca
s_{kvz}, s_{kpr}	trajektorija gibanja v vzdolžni smeri oz. prečni smeri
S. O.	standardni odklon
N	velikost vzorca
T2,4	točke v višini približno na nivoju torakalnega vretenca T2-T4
V45	varanje z žogo s pospeševanjem in zavijanjem za kot 45°
V60	varanje z žogo s pospeševanjem in zavijanjem za kot 60°
t_n	čas napadalca do točke srečanja
t_{oi}	čas obrambnega igralca do točke srečanja
ss0	sprememba smeri obrambnega igralca

1. UVOD

Nogomet je eden najbolj razširjenih športov na svetu (Inklaar, 1994; Tumilty, 1993). Za uspeh v nogometu je potrebno posedovati ustrezne fizične sposobnosti, psihosocialne značilnosti, taktična in tehnična znanja (Bangsbo, Norregaard, & Thorso, 1994; Reilly, Williams, Nevill, & Franks, 2000; Roesch et al., 2000; Stolen, Chamari, Castagna, & Wisloff, 2005; Williams & Reilly, 2000). Nogometna igra postaja vedno bolj hitra, intenzivna in agresivna (Tumilty, 1993).

V nogometni igri se dve ekipi 11 igralcev borita s ciljem, da dosežeta zadetke. Ekipa mora koordinirati svoje aktivnosti, tako da pridobi žogo v svojo posest, jo ohrani v svoji posesti in jo poskuša spraviti v področje, iz katerega lahko doseže zadetek (Grehaigne, Bouthier, & David, 1997). Gre za dva kompleksna dinamična sistema, ki sta ves čas v medsebojni interakciji.

V nogometu se pojavljajo številne aktivnosti, katerih izvedbo lahko izboljšamo, če jih vadimo ponavljajoče pri visoki intenzivnosti. Sposobnost ponavljanja anaerobnih aktivnosti bodisi ob prisotnosti žoge bodisi brez prisotnosti žoge je ena od odločilnih karakteristik v nogometni igri (Christopher Carling, Williams, & Reilly, 2005).

1.1 Aktivnosti brez žoge in z žogo

Nogometaši lahko med nogometno igro izvajajo različne aktivnosti brez žoge in aktivnosti z žogo.

1.1.1 Aktivnosti brez žoge

Aktivnosti brez žoge so pogosto definirane kot mirovanje, hoja, počasen tek, srednje hiter tek, hiter tek in šprint. Različni avtorji so določali tudi različne meje za gibalne kategorije. Za mirovanje so določili (od 0.00 do 1.30 m·s⁻¹), hojo (od 1.30 do 2.04 m·s⁻¹), počasen tek (od 2.04 do 4.89 m·s⁻¹), hiter tek (od 4.89 do 6.93 m·s⁻¹), šprint (od 6.93 do 8.15 m·s⁻¹) (Van Gool, Van Gerven, & Boutmans, 1988) ali mirovanje, hoja, tek nizke intenzivnosti (do 3.6 m·s⁻¹), tek srednje intenzivnosti (do 5 m·s⁻¹) tek visoke intenzivnosti (do 6.7 m·s⁻¹) in maksimalna hitrost teka (nad 6.7 m·s⁻¹) (Reilly & Bowen, 1984). Da bi poenotili hitrosti gibanja nogometašev, sta Dwyer in Gabret (2012) predlagala sledeče hitrosti: mirovanje (od 0.0 do 0.1 m·s⁻¹), hoja (od 0.2 do 2.0 m·s⁻¹), počasen tek (od 2.1 do 3.7 m·s⁻¹), srednje hiter tek (od 3.8 do 6.0 m·s⁻¹), šprint (od 6.1 m·s⁻¹) (Dwyer & Gabbett, 2012).

Med nogometno tekmo je približno 80 – 90 % aktivnosti izvedenih z nizko ali srednjo intenzivnostjo, medtem ko je ostalih 10 – 20 % aktivnosti izvedenih z visoko intenzivnostjo (Bangsbo, 1994; Rienzi, Drust, Reilly, Carter, & Martin, 2000). Analiza aktivnosti nogometašev med tekmo v prvi danski ligi je pokazala sledeče deleže: mirovanje 19.5 %, hoja 41.8 %, počasen tek 16.7 %, hiter tek 16.8 %, šprint 1.4 % in ostalo 3.7 % (Mohr, Krusturp, & Bangsbo, 2003). Čeprav se visoko intenzivne aktivnosti pojavljajo v manjšem deležu (Bangsbo, et al., 1994; Tumilty, 1993), predstavljajo odločilne trenutke nogometne igre in direktno pripomorejo k pridobivanju posesti žoge in doseganju zadetkov (Reilly, Bangsbo, & Franks, 2000).

Prehodi med mirovanjem, hojo in različnimi hitrostmi tekov so označeni kot pospeševanje in zaviranje, pri čemer lahko prihaja tudi do sprememb smeri (Bloomfield, Polman, & O'Donoghue, 2007; Reilly, Bangsbo, et al., 2000; Robinson, O'Donoghue, & Wooster, 2011; Stolen, et al., 2005).

Pospeševanje

Pospešek je definiran kot količnik spremembe hitrosti in časa, v katerem se sprememba zgodi (Supej, 2011). Čeprav je pospešek vektor s tremi komponentami, pogosto govorimo le o pospeševanju velikosti hitrosti ali pa le o pospešku v eni dimenziji. V nogometu je pospeševanje sprememba hitrosti, ki omogoča igralcu, da doseže maksimalno hitrost v čim krajšem času. Poleg sposobnosti doseganja maksimalne hitrosti je sposobnost pospeševanje bistvena kvaliteta nogometaša in tudi igralcev drugih ekipnih športov (Baker & Nance, 1999; Bangsbo, et al., 1994; Deutsch, Kearney, & Rehrer, 2002; Douge, 1988; Nicholas, 1997; Sayers, 2000), saj je odločilna pri rezultatu igre (Cometti, Maffiuletti, Pousson, Chatard, & Maffulli, 2001; Penfold & Jenkins, 1996; Rienzi, et al., 2000).

Poleg tega nogometaši redko pretečejo tako velike razdalje, da bi dosegli maksimalno hitrost (Douge, 1988; Reilly, 1997). Nogometaši najpogosteje pospešujejo na kratkih razdaljah od 10 m do 20 m (Cometti, et al., 2001; Deutsch, et al., 2002; Nicholas, 1997; Reilly, Bangsbo, et al., 2000; Spencer, Bishop, Dawson, & Goodman, 2005; Spinks, Murphy, Spinks, & Lockie, 2007). So pa pospeševanja do 10 m še posebej pomembna za športnike (Cometti, et al., 2001).

Zaviranje

Pospešku, ki je zasukan v nasprotni smeri gibanja in zmanjšuje hitrost, navadno pravimo zaviranje. Tudi učinkovito zaviranje je poleg hitrih startov pri športnih aktivnostih pogosto zelo potrebno in pomembno (Hay, 1985). Zaviranje se v ekipnih športih pojavlja prav tako pogosto kot pospeševanje (Osgnach, Poser, Bernardini, Rinaldo, & Di Prampero, 2010; Spencer et al., 2004). V nogometu zasledimo 54.1 zaviranj na tekmo (Bloomfield, et al., 2007).

Sprememba smeri

Sprememba smeri pomeni spreminjanje smeri vektorja hitrosti. Torej, ne glede na to ali se velikost hitrosti spreminja ali ne, je sprememba smeri vedno povezana s pospeškom. Natančneje temu pravimo radialni pospešek, ki kaže proti središču kroženja in je pravokoten na hitrost gibanja. Pri tem se spremeni tudi nagib telesa proti središču kroženja, kar služi k preprečevanju vrtilnega momenta in omogoča nadaljevanje teka po krivulji. Mišično delo je izrazitejše pri nogi, ki je na zunanji strani krivulje gibanja (Smith, Dyson, & Hale, 1997).

Spremembo smeri nogometaši pogosto uporabljajo v prostorsko in časovno omejenem prostoru, da bi se izognili nasprotniku ali prestregli njegovo gibanje (Zebis et al., 2008). Sprememba smeri se lahko izvede na dva načina (Andrews, McLeod, Ward, & Howard, 1977; Ohtsuki, Yanase, & Aoki, 1987). Lahko se izvede s korakom v stran. To pomeni, da se na začetku spremembe smeri uporabi nogo, ki je nasprotna od strani, v katero se želi spremeniti smer. Drug način je sprememba smeri s križnim korakom. V takšnem primeru se sprememba smeri začne z nogo, ki je bližje smeri, v katero namerava športnik spremeniti smer.

Nekoliko starejša raziskava kaže, da nogometaši na tekmo izvedejo povprečno 50 sprememb smeri (Withers, Maricic, Wasilewski, & Kelly, 1982). V novejši raziskavi angleške prve lige pa so ugotovili, da nogometaši izvedejo povprečno 65 sprememb smeri na tekmo (Bloomfield, et al., 2007). Sposobnost spreminjanja smeri je povezana s hitrostjo gibanja (Grehaigine, et al., 1997). Nogometaši, ki potujejo s hitrostjo $\leq 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, lahko v 1 sekundi spreminjajo smer v območju $\leq 240^\circ$ glede na začetno smer gibanja. Območje spreminjanja smeri se zmanjšuje z večanjem hitrosti gibanja. Če nogometaši potujejo s hitrostjo $\geq 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, lahko v 1 sekundi spremenijo smer v območju $\leq 80^\circ$ (Grehaigine, et al., 1997).

1.1.2 Aktivnosti z žogo

Aktivnosti z žogo predstavljajo le 1.73 % celotne razdalje, ki jo premagajo nogometaši (Reilly & Thomas, 1976). Aktivnosti z žogo v obrambi so: odvezemanje žoge, blokiranje žoge, izbijanje žoge in prestrezanje žoge. Pri analizi 3 obrambnih igralcev, 3 zveznih igralcev in dveh napadalcev, ki so igrali vsaj 3 cele tekme v Ligi prvakov 2005 - 2006 in vsaj 3 cele tekme na Svetovnem prvenstvu 2006, je bilo ugotovljeno, da so igralci v Ligi prvakov izvedli povprečno 14.1 obrambnih aktivnosti z žogo in na Svetovnem prvenstvu 16 (Rowlinson & O'Donoghue, 2007).

Aktivnosti z žogo v napadu so: podaja, strel proti vratom, vodenje žoge (Reilly & Holmes, 1983), varanje z žogo in zaustavljanje žoge.

Podaja

Pri podaji gre za poskuse prenesti žogo iz posesti enega igralca v posest drugega igralca. Nogometaši so v Ligi prvakov izvedli povprečno 40.1 in na Svetovnem prvenstvu 41.0 podaj na tekmo (Rowlinson & O'Donoghue, 2007). V prvi nemški nogometni ligi so nogometaši izvedli povprečno 28.2 podaj na tekmo (Yue, Broich, & Mester, 2014).

Strel proti vratom

Pri streljih gre za poskuse zadeti nasprotnikova vrata s katerim koli delom telesa razen z roko. Nogometaši so v Ligi prvakov izvedli povprečno 1.1 strel in na Svetovnem prvenstvu 1.7 strel na tekmo (Rowlinson & O'Donoghue, 2007). V prvi nemški nogometni ligi so nogometaši izvedli 1.2 strel proti vratom (Yue, et al., 2014).

Vodenje žoge

Ne glede na igralno mesto je sposobnost hitrega vodenja žoge pomembna karakteristika nogometašev (Iaia, Rampinini, & Bangsbo, 2009; Mohr, et al., 2003; Reilly, Bangsbo, et al., 2000; Reilly, Williams, et al., 2000). Nogometaši so v Ligi prvakov izvedli povprečno 8.5 vodenj žoge in na Svetovnem prvenstvu 9.3 vodenj žoge na tekmo (Rowlinson & O'Donoghue, 2007). Vodenje žoge so v francoski prvi ligi v 27.6 % izvajali pri hitrostih $< 11.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, v 12.5 % pri hitrostih od $11.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $14.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, v 25.6 % pri hitrostih od 14.1 do $19 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ in v 34.3 % pri hitrostih $> 19.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Carling, 2010).

Varanje z žogo

Nogometaši, ki vodijo žogo, pogosto spremenijo smer z varanjem v nasprotno stran od nameravane. Varanje z žogo vključuje zmanjšanje hitrosti igralca, čemur sledi hitro povečanje hitrosti teka in sprememba smeri.

Na svetovnem prvenstvu 2006 je bilo v izločilnem delu tekmovanja ugotovljenih 11 najpogostejših situacij varanja z žogo (Rovan, Kugovnik, Supej, & Verdenik, 2009).

Najpogosteje se je pojavljalo :

- varanje z notranjim delom stopala,
- varanje z zunanjim delom stopala,
- varanje z obračanjem,
- varanje z udarcem žoge mimo obrambnega igralca po strani, ki je nasprotna od strani, po kateri steče napadalec.

Nekoliko redkeje se je pojavljalo:

- varanje s spremembo hitrosti gibanja, ko se napadalec in obrambni igralec gibljeta zelo hitro v približno isti smeri,

- varanje z notranjim delom stopala za stojno nogo po nakazanem udarcu,
- varanje s prestopanjem,
- varanje, pri katerem napadalec udari žogo obrambnemu igralcu med nogama,
- varanje s spremembo smeri, ko se napadalec in obrambni igralec gibljeta zelo hitro v približni isti smeri,
- varanje z notranjim delom stopala po nakazanem udarcu,
- varanje z notranjim delom stopala v stran pred stojno nogo in udarcem v smeri naprej z notranjim delom stopala nasprotne noge.

V igri ena na ena je za nogometaše zelo pomembna sposobnost agilnost, ki predstavlja kombinacijo pospeševanja, zaviranja in hitrega spreminjanja smeri (Gambetta, 1996). Young, et al. (2002) so agilnost razdelili na fizično komponento in zaznavno komponento. To pomeni, da agilnost opredeljuje učinkovitost izvedbe kombinacije zapletenih gibalnih in miselnih aktivnosti v različnih igralnih situacijah. Fizična komponenta zajema linearno hitrost, hitrost spremembe smeri in moč. Zaznavna komponenta, ki se nanaša na odločanje, zajema pregled terena, anticipacijo, prepoznavanje vzorcev in situacijsko znanje (Young, James, & Montgomery, 2002). Razlikujemo načrtovano agilnost, kjer je gibanje načrtovano vnaprej, in reakcijsko agilnost, kjer se gibanje začne po prihodu primerne dražljaja (Rand & Ohtsuki, 2000; Sheppard & Young, 2006).

1.2 Merjenje gibanja nogometašev

Gibanje igralcev po igrišču kot funkcija časa je uporabna informacija, ki lahko prispeva k učinkoviti izvedbi igre nogometašev na različnih položajih (Allen, Butterly, Welsch, & Wood, 1998). Taktične variante so lahko povezane s fiziološkimi spremenljivkami, tehničnimi in taktičnimi informacijami (Bangsbo, et al., 1994; Reilly & Thomas, 1976). V prvih študijah, ki so obravnavale gibanje igralcev, sta Reilly in Thomas (1976) uporabila kamero za analizo gibanja vsakega igralca (Reilly & Thomas, 1976). Mayhew and Wenger (1985) sta uporabila kamero pri sledenju dveh igralcev, pri čemer so vsakega snemali 7 minut (Mayhew & Wenger, 1985). Izračunali so čas in frekvenco vsake aktivnosti, kot so mirovanje, hoja, počasen tek in tek. Za

boljše ovrednotenje gibanja je Erdmann (1993) posnel nogometno igro z eno statično TV-kamero (z uporabo širokokotne leče 130°) in analiziral premik enega igralca s pregledom posnetkov od sličice do sličice in preglednim kvadratnim obrazcem, prilagojenim za monitor. Položaj igralca je bil določen vsako sekundo med 5 minutami (Erdmann, 1993).

Nato se je pojavila dostopnost nove tehnologije sledenja. Ameriški oddelek za obrambo je najprej za vojaške namene osnoval globalni satelitski navigacijski sistem, ki ga je komercialno poimenoval Globalni Sistem Pozicioniranja (GPS). Leta 2000 so zmanjšali namensko napako v sistemu in povečali natančnost nediferencialnih variant GPS-tehnologije (Townshend, Worringham, & Stewart, 2008; Young, Hawken, & McDonald, 1996), zato se GPS danes lahko uporablja tudi za rekreacijske namene na prostem.

Za študij človeškega gibanja zunaj laboratorija se je GPS izkazal za obetavno orodje, saj omogoča natančno metodo določanja položaja oseb med biološkimi in biomehanskimi študijami (Perrin, Terrier, Ladetto, Merminod, & Schutz, 2000; Schutz & Chambaz, 1997; Schutz & Herren, 2000; Terrier, Ladetto, Merminod, & Schutz, 2000, 2001). Enostavne, poceni in lahke nediferencialne GPS enote so se uporabljale tudi pri sledenju živali (Stratford, 2006). Diferencialni globalni sistem pozicioniranja - DGPS so razvojne skupine precej uporabljale za študij biomehanike hoje (Cowell, 1999; Dwyer & Gabbett, 2012; Terrier, et al., 2000, 2001). V nasprotju z diferencialnimi sprejemniki uporaba nediferencialnih GPS ponuja prednosti, kot so nižja cena, majhna teža, manjše enote in manj kompleksni postopki zbiranja podatkov.

Ugotovitve kažejo, da globalna tehnologija določanja položaja vključuje sistematične napake pri sledenju gibanja igralcev. Vendar so nivoji napak majhni in predvidljivi, tako da ni ovir pri uporabi teh tehnologij pri opazovanju gibanja igralcev (Edgecomb & Norton, 2006). V praksi se uporablja predvsem GPS s frekvenco zbiranja podatkov 1 Hz in 5 Hz (Aughey, 2010; Brewer, Dawson, Heasman, Stewart, & Cormack, 2010; Coutts, Quinn, Hocking, Castagna, & Rampinini, 2010; Duffield, Coutts, & Quinn,

2009; Wisbey, Montgomery, Pyne, & Rattray, 2010). V zadnjem času so komercialno dostopne tudi GPS enote s frekvenco 10 Hz, kar je izboljšava za prejšnje frekvence zbiranja podatkov (Castellano, Casamichana, Calleja-González, San Román, & Ostojic, 2011). Nediferencialne GPS-naprave, ki zajemajo podatke pri frekvenci 1 Hz, ne omogočajo natančnih informacij pri visoko intenzivnih aktivnostih, posebno še tistih, ki se odvijajo po nelinearni poti (Aughey, 2010; Brewer, et al., 2010; Coutts, et al., 2010; Duffield, et al., 2009; Wisbey, et al., 2010). V takem primeru so manj natančne tudi izmere nadmorske višine (Townshend, et al., 2008).

S pomočjo dražjih diferencialnih GPS-sprejemnikov lahko merimo s centimetrsko natančnostjo do frekvence zbiranja podatkov 20 Hz, tako da lahko dobimo več informacij kot le trajektorije in hitrosti gibanja (Perrin, et al., 2000; Schutz & Chambaz, 1997; Schutz & Herren, 2000; Supej, 2010; Supej & Holmberg, 2011; Supej et al., 2013). Novejši načini merjenja nam omogočajo tudi merjenje kinematike v realnem času (RTK), kar omogoča hitro dostopnost do podatkov (Bloomfield, et al., 2007; Schutz & Chambaz, 1997; Schutz & Herren, 2000; Supej, 2010; Supej & Holmberg, 2011; Terrier, et al., 2000).

Veliko zadetkov je doseženih med dinamičnimi pogoji, ko ima nogometaš na razpolago omejen čas in prostor (Olsen, 1988). V 52 finalih svetovnih prvenstev v nogometu je bila ena četrtnina zadetkov dosežena tako, da so izvedli slalomsko gibanje ali individualni prodor in nato streljali proti vratom (Dufour, 1993). To pomeni, da je igra ena na ena, ko napadalec z žogo poskuša priti mimo obrambnega igralca brez žoge, ena od pomembnih visoko intenzivnih aktivnosti z žogo v nogometu. Glede na razmeroma nizko ugotovljeno uspešnost nogometaša pri varanju z žogo 58 % med nogometno igro (Rovan, 2008) bi bilo smiselno temu elementu igre posvetiti posebno pozornost.

V situaciji ena na ena poskuša igralec z žogo priti mimo igralca brez žoge, pri čemer se pojavljajo visoko intenzivna gibanja. Nov način merjenja, kot je satelitska navigacija RTK (kinematika v realnem času), nam omogoča prav merjenje visoko intenzivnih gibanj.

Z analizo gibanja nogometaša brez žoge in z žogo bi lahko definirali gibanja nogometašev, oblikovali model varanja z žogo in nato pri varanju z žogo simulirali gibanje napadalca in obrambnega igralca. V smislu varanja z žogo bi lahko bodisi napadalcu bodisi obrambnemu igralcu olajšali izbiro načina izvedbe aktivnosti brez žoge oz. z žogo v igri ena na ena.

2. PREDMET IN PROBLEM

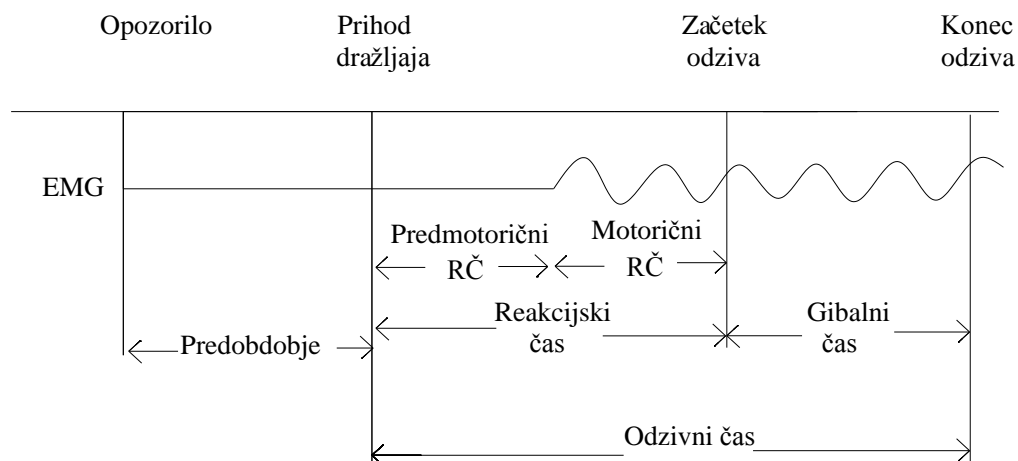
2.1 OPREDELITEV VARANJA Z ŽOGO

V situaciji varanja z žogo sta udeležena napadalec in obrambni igralec. Pri varanju z žogo poskuša napadalec z žogo priti mimo obrambnega igralca.

2.1.1 Obrambni igralec pri varanju z žogo

Naloga obrambnega igralca je, da napadalcu odvzame žogo, mu zapre pot gibanja ali nad njim stori prekršek. Reakcijo obrambnega igralca pri igri ena na ena lahko razdelimo na osnovi kritičnih dogodkov, vpletenih v paradigmo reakcijskega časa (Schmidt, 1999) (Slika 1) na:

- predobdobje,
- reakcijski čas,
- gibalni čas.

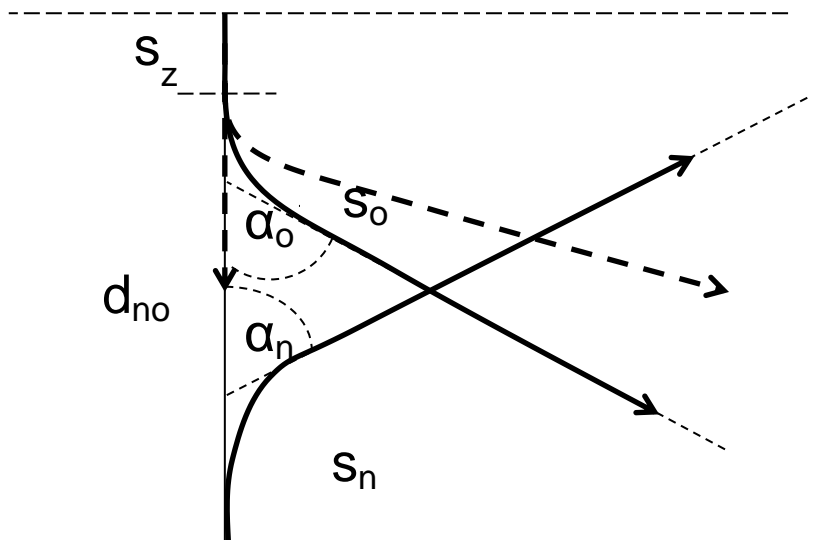


Slika 1: Kritični dogodki, vpleteni v paradigmi RČ (reakcijski čas). Valovita sled kaže hipotetični EMG (elektromiogram) določene mišice (Botwinick & Thompson, 1966; Schmidt, 1999; Weiss, 1965).

Predobdobje

Predobdobje predstavlja čas od opozorila do prihoda dražljaja in lahko traja različno dolgo (Schmidt, 1999) (Slika 1). V primeru varanja z žogo je to obdobje, ko se napadalec in obrambni igralec znajdetata v igri ena na ena. Ko se igralca približujeta eden proti drugemu z določeno začetno hitrostjo (Slika 2), sprejemata veliko količino informacij o lastnem telesu, soigralcih, nasprotnikih, žogi in голу.

Za obrambnega igralca predobdobje traja, dokler napadalec ne izvede udarca po žogi med spreminjanjem hitrosti in smeri gibanja, da bi skupaj z žogo prišel mimo obrambnega igralca. Ko napadalec na določeni začetni razdalji do obrambnega igralca izvede udarec po žogi, to za obrambnega igralca pomeni prihod dražljaja, na katerega mora izvesti primerno reakcijo. Seveda so športniki z izkušnjami sposobni prepoznati potek igre že prej na osnovi različnih zunanjih znakov in lahko tako hitreje reagirajo na dražljaj (Abernethy & Russel, 1987; Williams, Davids, Burwitz, & Williams, 1994).



Slika 2: Skica gibanja napadalca in obrambnega igralca pred spremembo smeri in po njej, d_{no} - oddaljenost napadalca in obrambnega igralca ob začetku varanja z žogo, s_z – trajektorija gibanja obrambnega igralca v obdobju zamujanja, s_n in s_o - trajektorija gibanja napadalca oz. obrambnega igralca, α_n in α_o – kot, za katerega sta napadalec oz. obrambni igralec med pospeševanjem oz. zaviranjem izvedla spremembo smeri gibanja.

Reakcijski čas

Reakcijski čas je interval od signala (spodbude) do začetka odziva nanj (Magill & Lee, 1998) (Slika 1). Ko igralec opazi namero nasprotnika, se začne predmotorična faza reakcijskega časa, ko mišice še niso aktivne. V tem delu poteka centralna obdelava, povezana z mišicami. Sledi motorična faza reakcijskega časa, ki predstavlja periferno komponento, ko so mišice že aktivirane, a gibanje še ni prisotno (Botwinick & Thompson, 1966; Weiss, 1965). Reakcijski čas je za slušne dražljaje približno 170 ms in za vizualne dražljaje 250 ms (Magill & Lee, 1998). V raziskavi več kot 185 nogometašev, ki so igrali v različnih italijanskih ligah, je bil ugotovljen nekoliko višji povprečni reakcijski čas na vidne dražljaje, in sicer 290 ms (Ricotti, Rigosa, Niosi, & Menciassi, 2013). Na reakcijski čas vplivajo dejavniki, kot so starost, spol, število sočasnih dražljajev, prehrana, telesna dejavnost, vadba in utrujenost

(Morehouse & Miller, 1976; Spirduso, 1975). Hitrost gibanja pri nogometaših nima vpliva na reakcijski čas (Senel & Eroglu, 2006).

Gibalni čas

Po reakcijskem času sledi gibalni čas (Slika 1), ki predstavlja čas od začetka do konca odziva na dražljaj (Schmidt, 1999). Obrambni igralec po reakcijskem času spremeni hitrost in/ali smer gibanja, da onemogoči namero napadalca.

Nogometaši sicer izvedejo več kot pol gibanj, ki vključujejo zavijanje v različne smeri, in manj kot pol nameravanih gibanj naprej (Bloomfield, et al., 2007; Docherty, Wenger, & Neary, 1988).

Spreminjanje hitrosti z zavijanjem

Zavijanje je sicer že po definiciji tudi pospešeno gibanje, ker je pri zavijanju potreben radialni pospešek (Supej, 2011). Fizikalni principi gibanja po krivulji zahtevajo ustvarjanje centripetalne sile. Ta sila mora biti usmerjena proti centru krivulje. V mnogih športnih panogah in tudi v nogometu morajo športniki pospeševati, zavirati in zavijati med tekmo (Docherty, et al., 1988; Sheppard & Young, 2006). Ti izbruhi maksimalnega napora so po navadi skoncentrirani med ključnimi akcijami tekme, ko se igralci poskušajo rešiti nasprotnika ali mu odvzeti žogo (Buchheit, Bishop, Haydar, Nakamura, & Ahmaidi, 2010; Medendorp, Van Gisbergen, & Gielen, 2002; Rienzi, et al., 2000) in so potencialno odločilni pri določanju končnega rezultata tekme (Cometti, et al., 2001; Rienzi, et al., 2000; Sayers, 2000).

Med tekmo je pomembna predvsem izvedba prvih nekaj korakov pospeševanja (Patla, Adkin, & Ballard, 1999). Igralci redko pospešujejo na tako veliki razdalji, da bi dosegli največjo hitrost (Douge, 1988). Eden od razlogov, da igralci ne dosežejo

maksimalnih hitrosti, je tudi zavijanje, ki zmanjša maksimalno hitrost teka (Chang & Kram, 2007). Prejšnje študije so se osredotočile na čas sprinta, v katerem so športniki zaključili različne tekalne poligone s spremembami smeri. Razkrile so, da večje spremembe smeri prispevajo k dalj časa trajajočim sprintom (Buchheit, et al., 2010; Buchheit, Haydar, & Ahmaidi, 2012; Young, et al., 1996). Med sprinti po krivulji notranja noga proizvede manjšo maksimalno silo v primerjavi z zunanjo nogo (Chang & Kram, 2007) in zmanjšanje maksimalne sile v posameznem koraku pomeni zmanjšanje učinkovitosti teka. Študija spreminjanja smeri za kot 60° pri konstantni hitrosti $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je pokazala, da je potreben vsaj en korak, da se po zavijanju stabilizira telo (Patla, et al., 1999).

Igralci pogosto začnejo spreminjati hitrost, ko se že gibajo pri določeni hitrosti (Young, McDowell, & Scarlett, 2001). Pri teku v smeri naprej se prehod iz gibanja pri eni hitrosti v gibanje pri drugi hitrosti v glavnem izvede z enim prehodnim korakom (Segers, Lenoir, Aerts, & De Clercq, 2007; Sheppard & Young, 2006), podobno je bil en prehodni korak ugotovljen pri prehodu v tek iz hoje in obratno (Segers, Aerts, Lenoir, & De Clercq, 2008). Kakor koli, pri igrah z žogo spremembe iz ene v drugo hitrost pogosto spremlja zavijanje. V takih primerih je včasih potrebnih več prehodnih korakov (Ohtsuki, et al., 1987). Za zavijanje iz višjih začetnih hitrosti je potrebno najprej zavirati in znižati centralno težišče telesa (Sayers, 2000).

Pospeševanje naravnost

Pospeševanje naravnost se razlikuje od pospeševanja z zavijanjem (Buttifiant, Graham, & Cross, 2002; W. Young, et al., 1996). Pri pospeševanju naravnost iz mirovanja je pospešek na začetku največji, nato z večanjem hitrosti upada, vse dokler se ne doseže maksimalna hitrost (Keller, 1973; Vaughan, 1983a, 1983b), ki jo sicer lahko atleti vzdržujejo nekje do razdalje 291 m (Keller, 1973). Večji pospešek na začetku pospeševanja iz mirovanja stoji omogoča izvedba koraka nazaj. Optimalni start iz stoječega položaja ni del programov treniranja, ampak je posledica individualnih vzorcev, ki se razvijejo na podlagi izkušenj (Kraan, Van Veen, Snijders, & Storm, 2001).

2.1.2 Napadalec pri varanju z žogo

Napadalec izvede varanje z žogo, tako da spremeni hitrost in/ali smer gibanja in nadaljuje z vodenjem žoge v želeni smeri. Varanje z žogo je zahtevnejše od običajnega spreminjanja hitrosti in smeri zaradi prisotnosti žoge (Meckel, Geva, & Eliakim, 2012; Smith & Chamberlin, 1992), še posebej pa tudi zaradi prisotnosti nasprotnika (Reilly, 2005). Testi maksimalne porabe kisika so namreč pokazali, da vodenje žoge poveča porabo kisika in porabo energije, tako da je gibanje z žogo potrebno obravnavati drugače kot gibanje brez nje (Rupf, Thomas, & Wells, 2007).

V raziskavi 320 nogometašev, ki so igrali na 15 tekmah v izločilnem delu Svetovnega nogometnega prvenstva v Nemčiji, je bilo na osnovi video posnetkov ocenjeno, da so nogometaši izvedli varanje z žogo v povprečju pod kotom $57 \pm 44^\circ$. 36 % je bilo varanj z žogo z notranjim delom stopala in 25 % z zunanjim delom stopala. Varanja z žogo z notranjim delom stopala so izvedli povprečno pod kotom $45 \pm 34^\circ$. Varanja z žogo z zunanjim delom stopala so izvedli povprečno pod kotom $50 \pm 30^\circ$ (T. Reilly, 1997).

Kljub razmeroma veliko opravljenih raziskav na področju nogometa na osnovi obstoječega znanja ne moremo nedvoumno opredeliti pospeševanja in zavijanja brez žoge in z žogo v različne smeri in iz različnih začetnih hitrosti. Lahko opredelimo le pospeševanje naravnost (Keller, 1973) brez prehodnega koraka iz gibanja pri eni hitrosti v gibanje pri drugi hitrosti (Segers, et al., 2008; Segers, et al., 2007; Sheppard & Young, 2006). Vendar za natančnejšo določitev spremenljivk Kellerjevega modela je kljub temu bolj smiselno izmeriti nogometaše in se s tem čimbolj približati realnim pogojem. Šprinterji za katere je bil Kellerjev model razvit za razliko od nogometašev lahko že na začetku maksimalno pospešujejo, medtem ko morajo nogometaši naprej preiti v primeren položaj za pospeševanje. Razlike med šprinterji in nogometaši izhajajo tudi iz športne opreme (obutev) in podlage po kateri se izvaja pospeševanje.

Oprelitev gibanj nogometašev brez in z žogo bi nam omogočilo tudi razumevanje situacije, kjer nogometaš z žogo poskuša priti mimo obrambnega igralca. Varanje z žogo v igri ena na ena je izjemno zanimivo za simuliranje, saj predstavlja začetek v razumevanje dvobojev in varanj nasploh. Rezultati takih simulacij bi nam pomagali razumeti razloge in pogoje uspešnosti in neuspešnosti napadalca oz. obrambnega igralca pri varanju z žogo. Ne nazadnje bi bilo tako vedenje izjemno pomembno za učinkovitejše treniranje varanja z žogo in obrambe nogometašev.

3 CILJI

Zato je bil prvi cilj študije opredeliti gibanje obrambnega igralca brez žoge in opredeliti gibanje napadalca z žogo. Za uresničitev tega cilja je bilo potrebno predhodno raziskati: koliko korakov in kateri koraki so potrebni za začetek in zaključek pospeševanja z zavijanjem v različne smeri iz različnih začetnih hitrosti in kako sta nameravana sprememba smeri ali začetna hitrost vplivala na dejansko spremembo smeri v vsakem koraku pri nogometaših, ki so se gibal obuti v nogometne čevlje po travnatem nogometnem igrišču.

Drugi cilj je bil postaviti kinematični model nogometaša pri varanju z žogo. Na osnovi tega modela je bil temeljni cilj ugotoviti, katera je najprimernejša sprememba smeri za napadalca v odvisnosti od:

- začetne hitrost napadalca in obrambnega igralca,
- začetne razdalje ter
- reakcijskega časa obrambnega igralca.

Hkrati je bil cilj določiti, kateri je najugodnejši kot zavijanja za obrambnega igralca v odvisnosti od:

- začetne hitrosti,
- začetne razdalje ter

- napadalčeve spremembe smeri pri varanju z žogo.

4 HIPOTEZE

V skladu z zgornjimi cilji dela, predmetom in problemom smo postavili naslednje hipoteze:

Hipoteza 1

Pospeševanje in spremembo smeri lahko opredelimo s pomočjo opredelitve pospeškov in časov med izvedbo koraka v stran in dvema sledečima korakoma.

Hipoteza 2

Če napadalec in obrambni igralec mirujeta, bo napadalec uspešen, če bo izvedel spremembo smeri na manjši začetni razdalji.

Hipoteza 3

Če napadalec teče proti mirujočemu obrambnemu igralcu, bo uspešen, če bo izvedel spremembo smeri na večji začetni razdalji.

Hipoteza 4

Če napadalec in obrambni igralec tečeta eden proti drugemu, bo napadalec uspešen, če bo izvedel spremembo smeri na večji začetni razdalji.

Hipoteza 5

Pri igri ena na ena obstajajo situacije, ko obrambni igralec napadalca ne more prestreči.

Hipoteza 6

Z večanjem začetne razdalje se za obrambnega igralca povečuje tudi najugodnejši kot zavijanja med pospeševanjem.

Hipoteza 7

Varanje z žogo s spremembo smeri za kot 60° je učinkovitejše od varanja z žogo s spremembo smeri za kot 45° .

5 METODE

Za simulacijo varanja z žogo je na osnovi meritev dovolj velikega vzorca nogometašev najprej potrebno opredeliti mogoča gibanja. Po opredelitvi gibanja napadalca in obrambnega igralca, oblikovanju kinematičnega modela varanj z žogo, lahko simuliramo poljubne situacije pri varanju z žogo. Zato smo v tem delu najprej izvedli eksperimentalni del, kjer smo izvedli ustrezne kinematične meritve nogometašev. Nato smo opredelili potrebna gibanja in jih uporabili za simulacije igre ena na ena.

5.1 VZOREC MERJENCEV

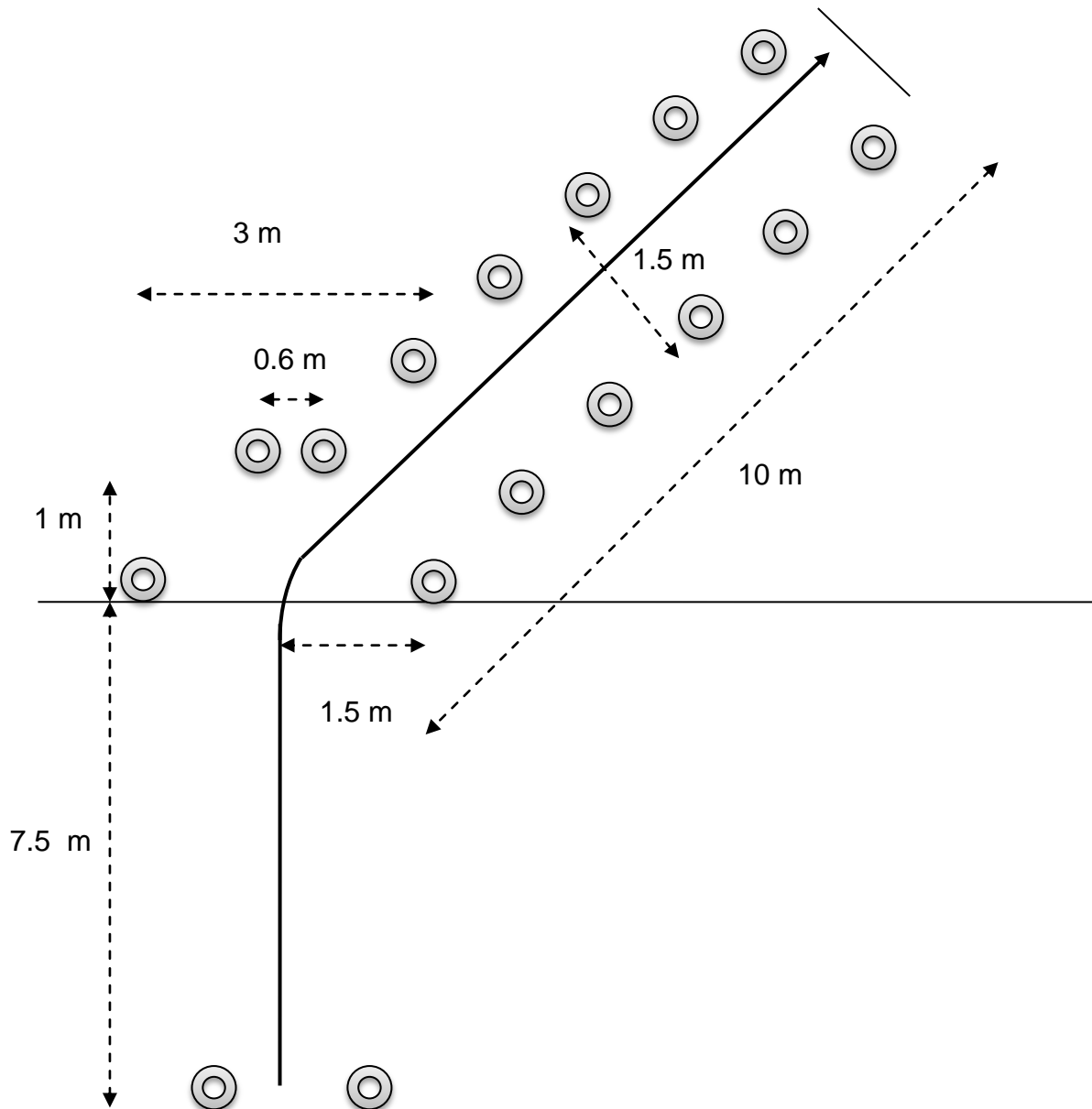
V raziskavi je prostovoljno sodelovalo osem nogometašev 2. slovenske nogometne lige. Merjenci so bili stari 20.5 ± 2.1 let, njihova višina je bila 1.79 ± 0.058 m in njihova teža 76.3 ± 4.8 kg. Postopki merjenja, ki jih je odobrila etična komisija Fakultete za šport v Sloveniji, so bili izpeljani v skladu s Helsinško deklaracijo.

5.2 MERSKI POSTOPKI

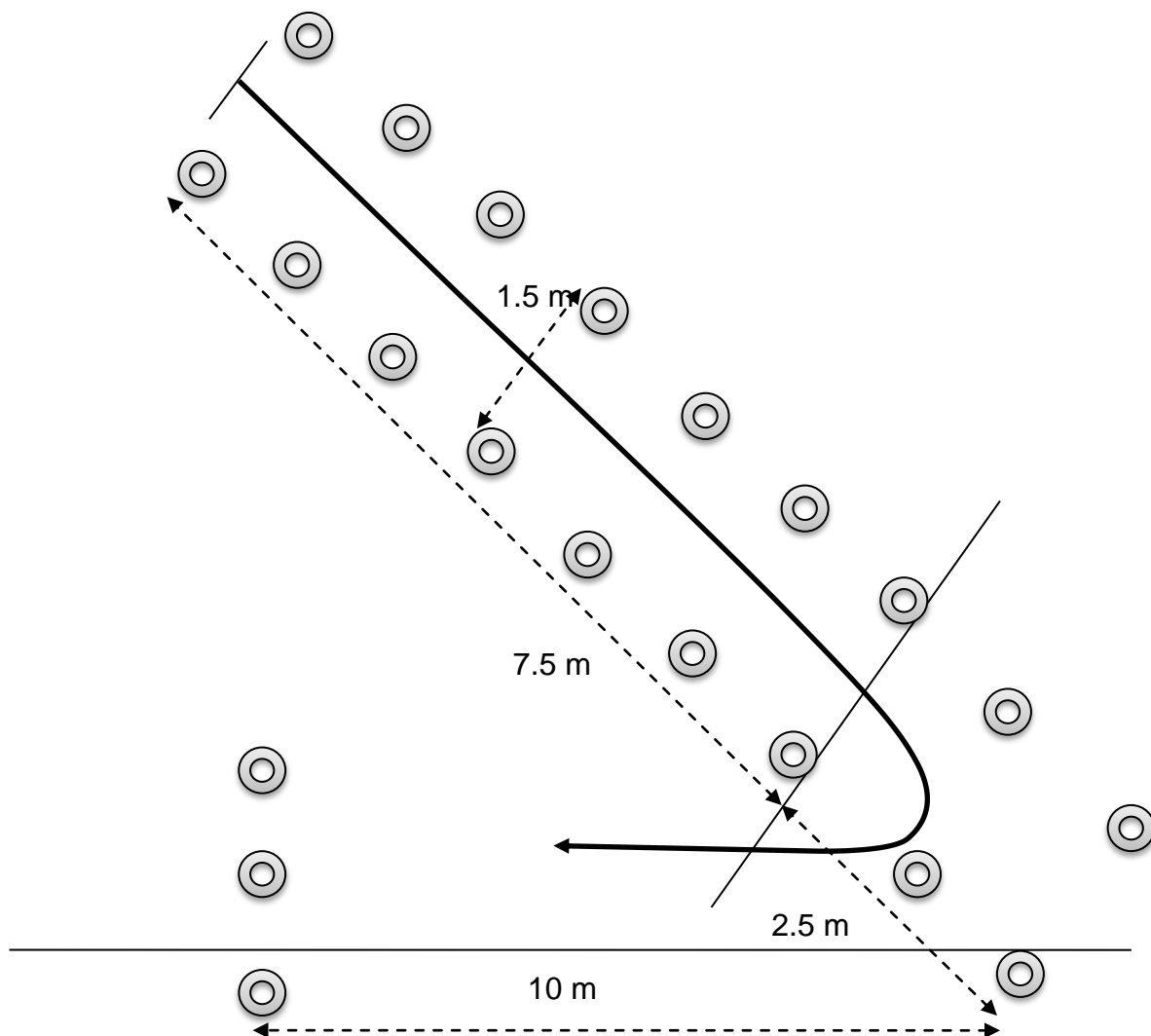
Meritve so potekale na nogometnem igrišču z naravno travo. Merjenci, oblečeni v nogometno opremo, so po ogrevanju izvedli pospeševanje naravnost in pospeševanja z zavijanjem brez žoge in z žogo.

Nogometaši so brez žoge iz mirovanja in dveh postopno večjih in kontroliranih začetnih hitrosti na razdalji 10 m (slika 3, 4) izvedli pospeševanje naprej in pospeševanja z zavijanjem za kote 30°, 60°, 90°, 120°, 150° in 180° glede na začetno smer gibanja. Na osnovi ocenjene povprečne vrednosti kota, za katerega so nogometaši spremenili smer pri varanju z žogo (Rovan, et al., 2009), smo izmerili gibanje varanja z žogo s pospeševanjem in zavijanjem za kot 60°, V60. Na podlagi ocen povprečnih vrednosti kotov dveh najpogostejših varanj z žogo (Rovan, et al., 2009) smo izmerili še varanje z žogo s pospeševanjem in zavijanjem za kot 45°, V45.

Vsa opisana gibanja so nogometaši izvedli iz mirovanja in dveh postopno večjih in kontroliranih začetnih hitrosti. Pri startih iz mirovanja so imeli nogometaši stopala postavljena paralelno. Da bi olajšali prehod v pospeševanje naravnost oz. pospeševanje z zavijanjem, kjer je potrebno zniževanje centralnega težišča in nagibanje naprej (Sayers, 2000), so imeli nogometaši pri startih iz mirovanja pokrčene noge v gležnjih, kolenih in bokih. Teža telesa je bila usmerjena na tla med desnim in levim stopalom. Merjenci so nadaljevali z nagibanjem telesa in postavljanjem odzivne noge v položaj za odiranje. Pri letečih startih smo zahtevali, da nogometaši pospešujejo in spremenijo smer z izvedbo koraka v stran. Poleg tega smo zahtevali, da začnejo s pospeševanjem in spremembo smeri iz dveh različnih začetnih hitrosti: počasen tek ($\sim 2.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) in srednje hiter tek ($\sim 4.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).



Slika 3: Poligon, na katerem so se iz različnih začetnih hitrosti izvajala pospeševanja z zavijanjem za kote 30° , 45° in 60° glede na začetno smer gibanja.



Slika 4: Poligon, na katerem so se iz različnih začetnih hitrosti izvajala pospeševanja z zavijanjem za kote 90° , 120° , 150° in 180° glede na začetno smer gibanja.

Iz začetnih hitrosti je vsak nogometaš izvedel maksimalni pospešek. Da bi zmanjšali učinke utrujenosti, je vsakemu poskusu sledil minuta odmora. Ker nobeno pospeševanje ni preseglo 10 s, lahko predvidevamo, da je bil napor osnovan na razpadu kreatin fosfata (Astrand & Rodahl, 1986). Za popolno obnovo kreatin fosfata je potrebna minuta počitka, kar smo nogometašem tudi omogočili. Nogometaši so bili dodatno razdeljeni še v dve skupini po štiri, ki smo jih izmerili ločeno. Vsak nogometaš je izvedel pospeševanje in spremembo smeri iz vseh zahtevanih začetnih

hitrosti v dve pred tem naključno izbrani spremembi smeri. Medtem so ostali štirje nogometaši počivali.

5.3 MERILNE NAPRAVE

Da bi določili korake, smo vse izvedbe snemali z video kamero Casio EX F1 pri polni visoki ločljivosti in hitrosti sličic 60 Hz (Casio Computer Co, Ltd, Tokio, Japonska). Kamera je bila postavljena na stojalo, 1 m pred štartno črto in 6 m stran od leve strani telesa. Da bi dosegli večjo ločljivost merjenca na video posnetku, je snemalec s kamero sledil merjencu. Za meritve trajektorije nogometašev smo uporabili GNSS (globalni navigacijski satelitski sistem) RTK (kinematika v realnem času) sistem (Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Švica) s 99.99 % zanesljivostjo določanja pozicije. Rover in referenčna postaja sta bila zgrajena iz enakih strojnih komponent: dvojna frekvenca L1/L2, geodetsko, GNSS RTK sprejemnik Leica GX1230GG, Leica GLONASS (globalni navigacijski satelitski sistem) / GPS (globalni sistem pozicioniranja) AX1202 GG pregledna antena in Leica Sateline 3 AS radio modemi za popravke v realnem času. Sistem obratuje v RTK načinu pri maksimalni frekvenci vzorčenja 20 Hz z natančnostjo pod 10 mm + 1 ppm horizontalno in 20 mm + 1 ppm vertikalno.



Slika 5: RTK GNSS sprejemnik, zapisovalnik podatkov in antena v majhnem nahrbtniku.

Med zbiranjem podatkov je bila referenčna postaja pritrjena na trinožniku manj kot 100 m stran od opazovanih točk, da bi prenesla popravke v realnem času. Za zajemanje trajektorij nogometašev so bili sprejemnik, modem in antena spravljene v majhnem nahrbtniku, ki ga je nosil nogometaš, pri čemer se je antena nahajala na nivoju zgornjega torakalnega vretenca (T2-T4), kar je relativno blizu težišča telesa. Kljub velikosti (0.212 x 0.166 x 0.079 m) in teži (1.64 kg), se nogometaši niso pritoževali o nelagodju in motnjah izvedbe.

Za nadzor hitrosti nogometašev v realnem času smo uporabili dve fotocelici Microgate Polyfemo. Razdalja med prvo in drugo fotocelico je bila 0.5 m in med desno in levo enoto 3 m. Kronometra Racetime 2 (Microgate S. r. l., Bolzano, Italy), ki merita z natančnostjo 1 ms, sta bila glede na priporočila Yeadona et al. (Yeadon, Kato, & Kerwin, 1999) postavljena v višini bokov. Merjenci so bili deležni verbalnih spodbud za tek pri določeni hitrosti. Če je hitrost odstopala od želene za več kot $\pm 0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, so morali merjenci meritev ponavljati.

5.4 ANALIZA PODATKOV IN BIOMEHANSKO MODELIRANJE VARANJA Z ŽOGO

Za obdelavo pridobljenih podatkov smo uporabili MATLAB verzije R2007a (MathWorks, Natick, Massachusetts, ZDA). Izmerjene trajektorije smo filtrirali z Rauch-Tung-Striebel algoritmom (Rauch, Tung, & Striebel, 1965). Ta uporablja dva razširjena Kalmanova filtra, ki po času tečeta naprej, nazaj in izvajata fiksno intervalno glajenje izračunanih signalov. Frekvenca filtriranja je bila nastavljena na najnižjo vrednost, da je filtriranje prikazalo nihanje hitrosti med tekalnimi koraki. Hitrost teka in pospešek smo pridobili iz ocene optimalnega stanja v Kalmanovem filtru. Da bi natančneje sinhronizirali videoposnetke z meritvami RTK GNSS, smo videoposnetke spremenili na 50 Hz z metodo sličica v okviru z uporabo programa za urejanje videoposnetkov (Virtualdub 1.9.11). Nato smo frekvenco videoposnetkov zmanjšali na 20 Hz, da smo uskladili frekvenco zajemanja podatkov z GNSS RTK meritvami. Na video posnetkih smo tudi določili najnižji položaj med počepom in

sinhronizirali pripadajočo GNSS RTK meritev z videoposnetkom na osnovi spremembe vertikalne hitrosti iz smeri navzdol v smer navzgor (iskanje ničle vertikalne hitrosti v območju počepa, kjer se zgodi preklap). Na osnovi kontaktov stopala s podlago smo iz videoposnetkov določili pripadajoče korake.

Iz tako pripravljenih podatkov smo v prvi fazi analizirali pospeševanje naravnost in pospeševanje z zavijanjem iz različnih začetnih hitrosti. Opredelili smo začetni korak pospeševanja naravnost oz. pospeševanja in zavijanja, tako da smo ugotavljali, v katerem koraku je prišlo do znižanja maksimalne višine T2,4 (točke v višini približno T2-T4 dela hrbtenice) za več kot 0.04 m. Ta vrednost predstavlja amplitudo nihanja težišča v vertikalni smeri oz. polovico maksimalne vrednosti 0.091 m nihanja težišča telesa, ki je bila ugotovljena pri analizi enakomernih tekov s hitrostmi 2.22, 2.78, 3.33, 3.89 in 4.44 m·s⁻¹ (Nardello, 2010). Na osnovi hitrosti pred začetnim korakom pospeševanja naravnost oz. pospeševanja in zavijanja smo opredelili začetno hitrost gibanja.

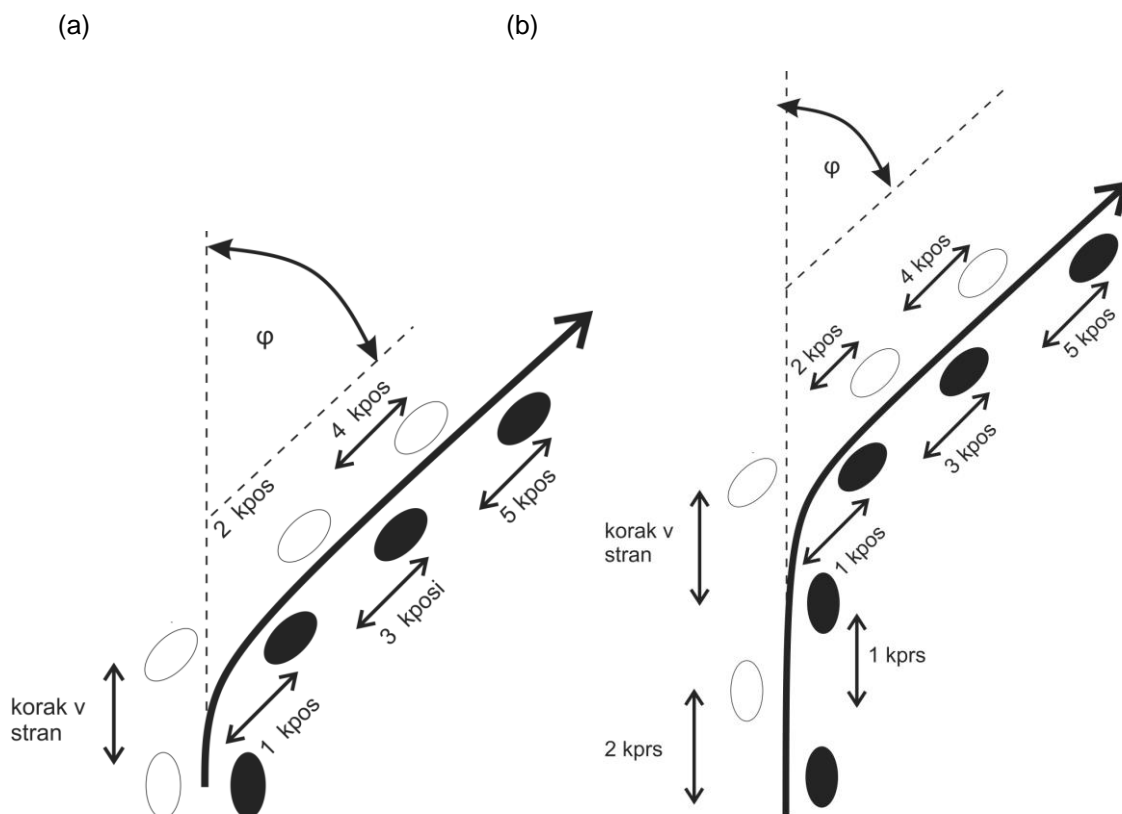
Nato smo določili korake, kjer je bilo prisotna sprememba smeri. Izračunali smo kote zavijanja v posameznem koraku $d\varphi_k$ kot razliko v smeri gibanja na koncu dveh zaporednih korakov φ_1, φ_2 .

$$d\varphi_k = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (\text{Enačba 1})$$

Spremembo smeri smo označili za zavijanje, če je bila sprememba kota zavijanja v enem koraku vsaj 3.0°. To minimalno vrednost za beleženje sprememb smeri smo izračunali kot srednjo vrednost maksimalnih absolutnih povprečnih sprememb kotov v korakih med pospeševanjem naravnost iz različnih začetnih hitrosti. Dobljena minimalna vrednost za beleženje sprememb smeri ustreza sukanju trupa med gibanjem naravnost, ki je manj kot $\pm 3.0^\circ$ (Patla, et al., 1999).

Pri začetkih iz mirovanja smo opravili analizo koraka v stran in analizo sledečih petih korakov (Slika 6 a). Na osnovi meritev, izvedenih iz letečih štartov, smo analizirali

dva koraka pred korakom v stran, korak v stran (izrazit korak v stran, ki je nasproten od nameravane spremembe smeri) in pet korakov po koraku v stran (Slika 6 b).



Slika 6: (a) Koraki pospeševanja in zavijanja iz mirovanja in (b) koraki pospeševanja in zavijanja iz letečega starta. Legenda: kprs – korak pred korakom v stran, kpos – korak po koraku v stran.

Sledila je druga faza, v kateri smo opredelili gibanje nogometašev. Za prehod v pospeševanje naravnost, prehod v pospeševanje z zavijanjem in vse do zaključka zavijanja med pospeševanjem smo izračunali trajanje posameznega koraka dt_k kot razliko med izmerjenim časom na koncu dveh zaporednih korakov t_1, t_2 (Enačba 3). S pomočjo izračunanih hitrosti v_{vz} v prečni smeri in v_{pr} za časovni razmik 0.05 s smo izračunali razliko v hitrosti dv_{kvz} v vzdolžni smeri in dv_{kpr} v prečni smeri med dvema zaporednima korakoma. Na podlagi kvocienta razlike v hitrosti med dvema zaporednima korakoma in trajanjem koraka smo nato izračunali vzdolžni pospešek a_{kvz} (usmerjen v začetno smer gibanja), in prečni pospešek a_{kpr} (usmerjen pravokotno glede na začetno smer gibanja) (Enačba 4, 5).

$$dt_k = t_2 - t_1 \quad (\text{Enačba 3})$$

$$a_{kvz} = dv_{kvz} / dt_k \quad (\text{Enačba 4})$$

$$a_{kpr} = dv_{kpr} / dt_k \quad (\text{Enačba 5})$$

Pri pospeševanju in zavijanju po varanju z žogo smo izračunali čas trajanja, vzdolžni in prečni pospešek za vsak korak do petega koraka po koraku v stran. Pri prvem koraku, ki je sledil koraku v stran, smo izračune opravili le v delu, od kontakta žoge z nogo do konca koraka.

Nadaljevanje opredeljenih gibanj napadalca oz. obrambnega igralca smo opisali s pospeševanjem naravnost brez žoge v smer, v katero so se nogometaši usmerili. Pospeševanje naravnost smo določili na osnovi eksperimentalnih meritev nogometašev (pospeševanje naravnost iz mirovanja) od začetka koraka, ki je sledil uvodnemu koraku, do maksimalne hitrosti teka na razdalji 10 metrov. Pri tem smo uporabili Kellerjevo enačbo Enačba 1, kjer je f sila na enoto mase, σ je parameter modela, $v(t)$ je trenutna hitrost nogometaša in t je trajanje pospeševanja.

$$dv(t) / dt = f - \sigma \cdot v(t) \quad (\text{Enačba 6})$$

Kellerjevi koeficienti f , σ so bili določeni z metodo najmanjših kvadratov, ki se je uporabila za regresijsko analizo filtriranih podatkov.

Sledila je tretja faza, v kateri smo na osnovi kinematičnih izmerkov zgradili simulacijski model varanje z žogo mimo obrambnega igralca. V simulacijskem modelu smo upoštevali naslednje:

- Napadalca in obrambnega igralca smo na začetku simulacije postavili tako, da sta bila obrnjena eden proti drugemu, pri čemer sta bodisi mirovala bodisi tekla. Nogometaše smo postavljali na začetne razdalje od 0.0 do 3.0 m z razmikom 0.1 m in simulirali začetne hitrosti 0.0, 2.8 in 4.2 m·s⁻¹.

- Simulirali smo pospeševanje obrambnega igralca naravnost in pospeševanje s spremembo smeri za kote -30° , -60° , -90° , -120° , -150° in -180° . Pri napadalcih smo simulirali pospeševanje in spremembo smeri za kota 45° in 60° z žogo. Spremembe smeri v pozitivno smer so pomenile zavijanje v desno glede na začetno smer gibanja in spremembe smeri z negativnim predznakom so pomenile zavijanje v levo glede na začetno smer gibanja nogometaša.
- V posameznem primeru smo za vsakega nogometaša simulirali trajektoriji gibanja ramen, kar pomeni, da smo upoštevali širino delovanja nogometaša 0.42 m (Sporiš, Čanaki, & Barišič, 2007).
- Po simulaciji gibanja smo s pomočjo Matlab funkcije »polyxpoly« računali točke presečišča. Izračunali smo, ali se sekata daljici med začetnima krajnima točkama obrambnega igralca in katera od trajektorij gibanj krajnih točk napadalca. Nato smo izračunali, če obstajajo presečišča med trajektorijama gibanja krajnih točk napadalca in trajektorijama gibanja krajnih točk obrambnega igralca. Na podlagi dobljenih presečišč smo lahko izračunali čas, potreben do točke srečanja.
- Napadalec je bil lahko uspešen, če trajektorija gibanja napadalčevih krajnih točk ni sekala daljice med začetnimi krajnimi točkami obrambnega igralca ali trajektorij gibanja krajnih točk obrambnega igralca. Napadalec je bil uspešen tudi, če je z vsemi krajnimi točkami prispel v točko srečanja prej kot obrambni igralec z vsemi svojimi krajnimi točkami. To pomeni, da je bila pri za napadalca najslabši možnosti razlika med časom prihoda v točko srečanja napadalca in časom prihoda v točko srečanja obrambnega igralca < 0 .
- Pri obrambnem igralcu smo od trenutka napadalčevega udarca žoge pri spremembi smeri kot reakcijski čas določili 290 ms (Ricotti, et al., 2013). Simulirali smo tudi situacije, pri katerih obrambni igralec ne bi zamujal.
- Pri vsaki simulirani začetni razdalji smo za vse simulirane spremembe smeri obrambnega igralca izračunali časovne razlike dt_{no} med prihodom napadalca t_n in prihodom obrambnega igralca t_{oi} do točke srečanja.

$$dt_{no}=t_n-t_{oi}$$

(Enačba 7)

Nato smo izračunali maksimalno vrednost časovnih razlik do točke srečanja (Maksčr), ki pomeni najprimernejšo izbiro spremembe smeri za obrambnega igralca na določeni začetni razdalji. Obrambni igralec je sicer uspešen, če je $\text{Maksčr} \geq 0$.

- Za začetne razdalje, kjer trajektoriji gibanja napadalca niso sekale daljice začetnih krajnih točk obrambnega igralca, smo izračunali Minmaksčr minimalno vrednost maksimalnih časovnih razlik do točke srečanje. To pomeni, da smo izračunali, kakšna je časovna razlika do točke srečanja, če napadalec izvede varanje z žogo na najbolj optimalni razdalji in obrambni igralec reagira za najbolj optimalni kot.

5.5 STATISTIKA

Rezultati razlik v maksimalni višini T2,4 med dvema zaporednima korakoma, kotov zavijanja, pospeškov in časov zavijanja brez žoge in z njo, spremenljivke pospeševanja naravnost so predstavljeni kot povprečne vrednosti in standardni odkloni. Korelacije med nameravano spremembo smeri in srednjo vrednostjo dejanske spremembe smeri v vsakem koraku in korelacije med začetno hitrostjo in srednjo vrednostjo dejanske spremembe smeri v vsakem koraku so bile določene na osnovi uporabe Pearsonovega korelacijskega koeficienta, kot je predlagal Cohen (Cohen, 1988). Za mejo statistične značilnosti smo izbrali $p < 0.01$.

6 REZULTATI

Rezultati so razdeljeni na tri podpoglavja. V prvem smo analizirali pospeševanje naravnost in pospeševanje z zavijanjem. V drugem podpoglavju smo opredelili gibanje nogometašev in v tretjem obravnavali simulacijo varanja z žogo mimo obrambnega igralca.

6.1 ANALIZA POSPEŠEVANJA NARAVNOST IN POSPEŠEVANJA Z ZAVIJANJEM

Določali smo, kdaj se zgodi prehod v pospeševanje naravnost oz. pospeševanje z zavijanjem. Poleg tega smo ugotavljali, kdaj se zaključi spreminjanje smeri med pospeševanjem in zavijanjem.

6.1.1 ZAČETEK POSPEŠEVANJA NARAVNOST OZ. POSPEŠEVANJA Z ZAVIJANJEM

Preglednica 1 prikazuje povprečno razliko v maksimalni višini T2,4 med dvema zaporednima korakoma. Pri prehodu iz drugega koraka, izvedenega pred korakom v stran, v korak, izveden pred korakom v stran, je povprečno znižanje maksimalne višine T2,4 prvič preseglo 0.04 m, ko so nogometaši začeli pospeševati in zavijati za kote od 120° do 180° iz počasnega teka ter ko so nogometaši začeli pospeševati in zavijati za kote od 60° do 180° iz srednje hitrega teka.

Pri prehodu iz koraka pred korakom v stran v korak v stran je povprečno znižanje maksimalne višine T2,4 prvič preseglo 0.04 m, ko so nogometaši začeli pospeševati naravnost in pospeševati in zavijati za kote od 30° do 90° iz počasnega teka ter ko so nogometaši začeli pospeševati in zavijati za kot 30° iz srednje hitrega teka.

Preglednica 1: Povprečna razlika v maksimalni višini T2,4 telesa med dvema zaporednima korakoma.

N	Nss	Pzach		2kprs - 3kprs	1kprs - 2kprs	Korak v stran – 1kprs	1kpos - korak v stran
	[°]	[m·s ⁻²]		[m]	[m]	[m]	[m]
8	0	2.82±0.47	Povss	-0.01	0.01	-0.06*	-0.02
8		4.32±0.26	Povss	0.01	0.00	-0.03	0.00
8	30	2.82±0.40	Povss	0.01	-0.03	-0.10*	0.03
8		4.20±0.23	Povss	0.04	-0.03	-0.07*	0.05
8	60	2.67±0.29	Povss	-0.03	-0.01	-0.08*	0.02
8		4.13±0.32	Povss	0.00	-0.05*	-0.10*	0.06
8	90	2.65±0.36	Povss	-0.03	-0.03	-0.16*	0.09
8		4.16±0.20	Povss	0.04	-0.05*	-0.18*	0.01
8	120	2.81±0.45	Povss	-0.02	-0.07*	-0.17*	0.10
8		4.05±0.42	Povss	-0.04	-0.10*	-0.09*	0.13
8	150	2.75±0.36	Povss	-0.02	-0.10*	-0.17*	0.14
8		4.08±0.47	Povss	-0.02	-0.13*	-0.05*	0.01
8	180	2.99±0.23	Povss	-0.02	-0.15*	-0.11*	0.06
8		4.32±0.39	Povss	-0.03	-0.14*	-0.10*	0.12

Legenda: N – velikost vzorca, Nss – nameravana sprememba smeri, Pzach – povprečna začetna hitrost, kprs – korak pred korakom v stran, kpos – korak po koraku v stran, Povss – povprečna razlika v maksimalni višini T2,4, * - vrednost znižanja maksimalne višine T2,4 večja od 0.04 m.

6.1.2 KORAKI S PRISOTNOSTJO SPREMEMBE SMERI MED POSPEŠEVANJEM IN ZAVIJANJEM IZ RAZLIČNIH ZAČETNIH HITROSTI

Tabele 2, 3 in 4 prikazujejo srednje vrednosti sprememb smeri in pripadajoče standardne odklone pri opazovanih korakih, ko so nogometaši pospeševali z zavijanjem iz različnih začetnih hitrosti.

Nogometaši so za izvedbo pospeševanja in zavijanja za kota 30° in 180° iz mirovanja potrebovali dva koraka, za zavijanje za kot 60° iz mirovanja tri korake in za zavijanja za kote 90°, 120° in 150° iz mirovanja štiri korake (Preglednica 2).

Preglednica 2: Povprečni kot zavijanja, standardni odklon v korakih med pospeševanjem naravnost in med pospeševanjem in zavijanjem iz mirovanja.

N	Nss		Korak v stran	1 kpos	2 kpos	3 kpos	4 kpos	5 kpos
	[°]		[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
8	0	Povss	-4.4*	1.8	0.5	-0.1	0.1	0.0
8		S. O.	3.8	6.0	4.7	1.5	1.4	1.1
8	30	Povss	11.9*	23.3*	2.0	0.0	-1.4	-0.5
8		S. O.	8.8	8.7	3.1	1.9	1.4	0.9
8	60	Povss	20.2*	36.5*	4.0*	1.5	-1.5	-0.1
8		S. O.	19.2	18.5	5.7	1.4	0.7	0.9
8	90	Povss	45.6*	34.6*	6.1*	4.8*	0.8	0.8
8		S. O.	36.5	26.4	9.8	2.5	1.7	1.1
8	120	Povss	63.4*	38.8*	7.2*	4.5*	0.9	2.3
8		S. O.	38.4	44.1	9.5	2.2	0.5	1.0
8	150	Povss	72.9*	60.8*	5.1*	5.9*	0.9	2.4
8		S. O.	36.3	41.8	3.1	2.5	2.6	2.0
8	180	Povss	93.7*	84.4*	1.2	0.9	0.0	0.1
8		S. O.	51.0	52.5	1.9	2.7	1.6	1.8

Legenda: N – velikost vzorca, Nss – nameravana sprememba smeri, kpos – korak po koraku v stran, Povss – povprečna sprememba smeri, S. O. – standardni odklon, * - sprememba smeri večja od 3.0°.

Ko so nogometaši začeli pospeševati in zavijati za kot 30° iz počasnega teka, je zavijanje trajalo od koraka v stran in še dva sledeča koraka. Za zavijanje za kot 60° iz počasnega teka je zavijanje trajalo od koraka v stran in še tri sledeče korake. Za pospeševanje in zavijanje za kota 90° in 120° iz počasnega teka je zavijanje trajalo od koraka pred korakom v stran in še pet sledečih korakov, medtem ko je za pospeševanje in zavijanje za kot 150° iz počasnega teka zavijanje trajalo od koraka pred korakom v stran in še štiri sledeče korake. Pri pospeševanju in zavijanju za kot 180° iz počasnega teka je zavijanje trajalo od prvega do drugega koraka, ki sta sledila koraku v stran (Preglednica 3).

Preglednica 3: Povprečna sprememba smeri in standardni odklon v korakih med pospeševanjem naravnost in med pospeševanjem in zavijanjem iz počasnega teka.

N	Nss	Pzach		2	1	Korak	1	2	3	4	5
				kprs	kprs	v stran	kpos	kpos	kpos	kpos	kpos
	[°]	[m·s ⁻¹]		[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
8	0	2.82±0.47	Povss	1.8	2.7	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	0.0	-0.3
8			S. O.	4.5	4.7	1.4	1.0	0.8	0.7	0.8	0.7
8	30	2.82±0.40	Povss	-2.5	2.5	7.5*	13.0*	3.2*	1.6	-0.6	0.6
8			S. O.	4.2	3.2	6.7	14.8	5.2	1.7	1.6	1.5
8	60	2.67±0.29	Povss	-2.3	1.6	10.7*	26.6*	12.7*	6.2*	2.1	0.8
8			S. O.	2.7	3.2	2.7	8.0	5.9	2.3	2.2	1.2
8	90	2.65±0.36	Povss	0.1	5.0*	15.0*	36.2*	20.7*	7.8*	3.5*	2.4
8			S. O.	4.5	7.0	7.3	17.1	8.8	2.2	2.9	1.5
8	120	2.81±0.45	Povss	-0.1	4.0*	16.2*	36.7*	51.7*	8.0*	3.0*	1.5
8			S. O.	1.8	4.9	19.7	13.3	22.7	4.0	1.5	1.9
8	150	2.75±0.36	Povss	1.9	5.7*	9.6*	60.8*	63.6*	5.2*	0.5	0.9
8			S. O.	2.7	3.7	1.7	36.2	37.4	5.0	2.9	1.1
8	180	2.99±0.23	Povss	1.2	0.5	1.5	115.3*	57.9*	2.5	1.4	-0.6
8			S. O.	0.7	4.8	2.9	75.9	75.0	1.0	0.9	1.7

Legenda: N – velikost vzorca, Nss – nameravana sprememba smeri, Pzach – povprečna začetna hitrost, kprs – korak pred korakom v stran, kpos – korak po koraku v stran, Povss – povprečna sprememba smeri, S. O. – standardni odklon, * - sprememba smeri večja od 3.0°.

Pri pospeševanju in zavijanju za kot 30° iz srednje hitrega teka je zavijanje trajalo od koraka pred korakom v stran in še tri sledeče korake, za pospeševanje in zavijanje za kot 60° iz srednje hitrega teka je zavijanje trajalo od koraka pred korakom v stran in še štiri sledeče korake. Za pospeševanje z zavijanjem za kota 90° in 120° iz srednje hitrega teka je zavijanje trajalo od koraka pred korakom v stran in pet sledečih korakov. Za pospeševanje z zavijanjem za kot 150° iz srednje hitrega teka je zavijanje trajalo od koraka v stran in štiri sledeče korake. Medtem ko je za pospeševanje in zavijanje za kot 180° iz srednje hitrega teka zavijanje trajalo od koraka v stran do drugega koraka, ki je sledil koraku v stran (Preglednica 4).

Preglednica 4: Povprečni kot zavijanja in standardni odklon v korakih med pospeševanjem in zavijanjem iz teka.

N	Nss	Pzach		2	1	Korak	1	2	3	4	5
				kprs	kprs	v stran	kpos	kpos	kpos	kpos	kpos
	[°]	[m·s ⁻¹]		[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]
8	0	4.32±0.26	Povss	-1.2	0.2	-0.1	0.0	-0.5	0.0	-0.1	0.2
8			S. O.	4.3	1.5	1.5	0.8	0.9	0.8	0.5	0.5
8	30	4.20±0.23	Povss	-1.2	3.3*	6.9*	11.9*	6.9*	2.6	0.3	0.2
8			S. O.	4.3	1.7	1.3	2.4	2.6	0.8	0.6	0.7
8	60	4.13±0.32	Povss	1.4	5.0*	12.7*	16.6*	13.1*	5.8*	1.9	0.8
8			S. O.	1.9	2.9	2.3	4.1	4.8	1.5	1.5	2.8
8	90	4.16±0.20	Povss	0.9	8.9*	14.6*	24.6*	24.9*	13.5*	3.3*	1.3
8			S. O.	0.6	11.4	18.7	6.7	16.9	4.3	4.2	2.5
8	120	4.05±0.42	Povss	1.2	3.3*	7.0*	38.2*	52.2*	10.8*	3.6*	2.0
8			S. O.	2.1	3.8	5.0	14.4	12.1	4.7	3.1	1.3
8	150	4.08±0.47	Povss	2.8	2.8	8.3*	67.9*	62.8*	3.3*	0.1	0.6
8			S. O.	1.2	2.4	13.6	66.2	72.7	3.5	2.1	1.2
8	180	4.32±0.39	Povss	1.2	2.4	3.2*	133.5*	40.3*	1.3	-1.2	0.4
8			S. O.	1.2	1.1	0.9	81.4	82.5	2.3	1.0	0.4

Legenda: N – velikost vzorca, Nss – nameravana sprememba smeri, Pzach – povprečna začetna hitrost, kprs – korak pred korakom v stran, kpos – korak po koraku v stran, Povss – povprečna sprememba smeri, S. O. – standardni odklon, * - sprememba smeri večja od 3.0°.

Preglednica 5 prikazuje povezanost med nameravanim kotom zavijanja in dejanskim kotom zavijanja pri vsakem koraku med pospeševanjem naravnost in med pospeševanjem z zavijanjem iz različnih začetnih hitrosti. Začetki iz srednje hitrega teka so pokazali, da je imel nameravani kot zavijanja statistično značilno povezanost s povprečnim kotom zavijanja dva koraka pred korakom v stran. Pri začetkih iz mirovanja je imela nameravana sprememba smeri statistično značilno povezanost s povprečnim kotom zavijanja med korakom v stran in korakom, ki koraku v stran sledi. Medtem ko je bil pri začetkih iz počasnega ali srednje hitrega teka nameravani kot zavijanja statistično značilno povezan s povprečnim kotom zavijanja med prvim in drugim korakom po koraku v stran.

Preglednica 5: Korelacija med nameravanim kotom zavijanja in dejansko povprečnim kotom zavijanja pri opazovanih korakih med pospeševanjem v smeri naravnost in med pospeševanjem z zavijanjem iz različnih začetnih hitrosti.

		2	1	Korak	1 kpos	2 kpos	3 kpos	4 kpos	5 kpos
		kprs	kprs	v					
				stran					
N		8	8	8	8	8	8	8	8
Mirovanje	Pearsonova korelacija			.995*	.950*	.345	.553	.493	.556
	P			.000	.001	.449	.198	.261	.195
Počasen tek	Pearsonova korelacija	.384	.106	.170	.919*	.952*	.420	.362	.051
	P	.396	.822	.716	.003	.001	.348	.425	.913
Srednje hiter tek	Pearsonova korelacija	.805*	.115	.103	.897*	.881*	.155	-.086	.308
	P	.029	.805	.826	.006	.009	.740	.855	.501

Legenda: N – velikost vzorca, kprs – korak pred korakom v stran, kpos – korak po koraku v stran, p – statistična značilnost, * - $p < 0.01$.

Preglednica 6 prikazuje povezanost med začetno hitrostjo in kotom zavijanja pri opazovanih korakih med pospeševanjem v smeri naravnost in pospeševanjem z zavijanjem. Statistično značilna pozitivna povezanost med hitrostjo približevanja in pospeševanjem z zavijanjem za kot 60° se je pojavila dva koraka pred korakom v stran. Ko so nogometaši izvajali korak v stran, je bila ugotovljena statistično značilna pozitivna povezanost med začetno hitrostjo in pospeševanjem z zavijanjem za kote od 90° do 180° .

Statistično značilna negativna korelacija med začetno hitrostjo in pospeševanjem z zavijanjem je bila ugotovljena tudi med izvedbo prvega koraka po koraku v stran, ko so nogometaši pospeševali z zavijanjem za kot 60° , pri drugem koraku po koraku v stran med spremembami smeri za kote od 60° do 120° , v tretjem koraku po koraku v

stran med zavijanjem za kote od 30° do 120° in v četrtem koraku po koraku v stran med zavijanjem za kote 30°, 60° in 120°.

Preglednica 6: Korelacija med začetno hitrostjo in spremembo smeri pri opazovanih korakih med pospeševanjem v smeri naprej ali pospeševanjem z zavijanjem.

Nss		2 Kprs	1 kprs	Korak					
				v stran	1 kpos	2 kpos	3 kpos	4 kpos	5 kpos
	N	16	16	24	24	24	24	24	24
0°	Pearsonova korelacija	-.456	-.518	.626*	-.234	-.153	.021	-.112	.088
	p	.076	.040	.001	.272	.474	.923	.603	.681
30°	Pearsonova korelacija	.248	-.009	-.330	-.436	.473	.620*	.521*	.349
	p	.354	.972	.115	.033	.019	.001	.009	.095
60°	Pearsonova korelacija	.707*	.444	-.327	-.564*	.585*	.713*	.679*	.249
	p	.002	.085	.119	.004	.003	.000	.000	.240
90°	Pearsonova korelacija	.043	.199	-.538*	-.158	.600*	.752*	.360	.117
	p	.873	.461	.007	.461	.002	.000	.084	.585
120°	Pearsonova korelacija	.512	-.166	-.777*	.076	.772*	.582*	.518*	-.051
	p	.043	.540	.000	.724	.000	.003	.010	.812
150°	Pearsonova korelacija	.221	-.259	-.787*	.203	.371	-.272	-.251	-.438
	p	.410	.332	.000	.342	.074	.199	.238	.032
180°	Pearsonova korelacija	.342	.147	-.777*	.316	.254	.148	-.151	.069
	p	.194	.587	.000	.132	.232	.491	.481	.748

Legenda: N – velikost vzorca, Nss – nameravana sprememba smeri (°), kprs – korak pred korakom v stran, kpos – korak po koraku v stran, p – statistična značilnost, * - $p < 0.01$.

6.2 OPREDELITEV GIBANJA NOGOMETAŠEV

Na osnovi naših izsledkov o pospeševanju s spremembo smeri z žogo in brez žoge ter izsledkov o pospeševanju naravnost (Kellerjev model) smo izračunali spremenljivke, ki so potrebne za opis gibanja obrambnega igralca in napadalca.

6.2.1 POSPEŠKI IN ČAS, POTREBEN ZA IZVEDBO KORAKOV PRI POSPEŠEVANJU Z ZAVIJANJEM IZ RAZLIČNIH ZAČETNIH HITROSTI

V Preglednici 7 so za korake, kjer je bilo zavijanje med pospeševanjem večje kot 3° , prikazane povprečne vrednosti in standardni odkloni pospeškov v vzdolžni in prečni smeri ter čas izvedbe korakov pri pospeševanju naravnost in pri pospeševanju z zavijanjem za različne kote iz mirovanja.

V Preglednici 8 so za korake, pri katerih je prišlo do zmanjšanja maksimalne višine T2,4, do korakov, kjer je bilo zavijanje med pospeševanjem večje kot 3° , prikazane povprečne vrednosti in standardni odkloni pospeškov v vzdolžni in prečni smeri ter čas izvedbe korakov pri pospeševanju naravnost in pri pospeševanjih in zavijanju za različne kote iz počasnega teka.

Preglednica 7: Povprečni vzdolžni in prečni pospešek, čas izvedbe koraka v korakih med pospeševanjem naravnost in pospeševanjem in zavijanjem iz mirovanja.

Nss		Enota	Korak v stran	1 kpos	2 kpos	3 kpos
N			8	8	8	8
			Pov.	Pov.	Pov.	Pov.
			S. O.	S. O.	S. O.	S. O.
0°	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	5.17±0.44			
	t	[s]	0.64±0.11			
30°	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	1.99±0.29	2.92±0.78		
	a_{kpr}	[m·s ⁻²]	0.44±0.38	4.43±0.48		
	t	[s]	0.61±0.10	0.24±0.04		
60°	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	1.44±0.58	0.61±0.78	1.94±0.57	
	a_{kpr}	[m·s ⁻²]	0.58±0.43	5.91±0.97	4.24±0.61	
	t	[s]	0.62±0.06	0.23±0.09	0.31±0.04	
90°	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	0.12±0.48	-0.24±0.59	0.05±0.30	-1.18±0.40
	a_{kpr}	[m·s ⁻²]	1.46±0.67	5.80±0.62	4.69±0.39	3.35±0.57
	t	[s]	0.44±0.18	0.16±0.06	0.37±0.05	0.26±0.04
120°	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	-0.07±0.18	-3.07±1.66	-1.99±0.48	-2.42±0.27
	a_{kpr}	[m·s ⁻²]	1.56±0.83	4.94±0.98	4.45±0.19	2.75±0.24
	t	[s]	0.33±0.03	0.20±0.08	0.36±0.04	0.23±0.03
150°	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	-0.20±0.50	-4.53±1.68	-3.90±0.55	-3.53±0.33
	a_{kpr}	[m·s ⁻²]	1.23±0.35	2.66±0.62	3.02±0.55	0.92±0.31
	t	[s]	0.36±0.22	0.24±0.08	0.36±0.04	0.24±0.02
180°	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	-0.24±0.22	-4.96±1.85		
	a_{kpr}	[m·s ⁻²]	0.42±0.16	0.21±0.05		

Legenda: N – velikost vzorca, Nss – nameravana sprememba smeri, kpos – korak po koraku v stran, a_{kvz} – vzdolžni pospešek, a_{kpr} – prečni pospešek, t – čas, Pov – povprečje, S.O. – standardni odklon.

Preglednica 8: Povprečni vzdolžni in prečni pospešek, čas izvedbe koraka v korakih med pospeševanjem in zavijanjem iz počasnega teka.

Nss	Enota	2 kprs	1 kprs	Korak v stran	1 kpos	2 kpos	3 kpos	4 Kpos
	N.	8	8	8	8	8	8	8
		Pov.	Pov.	Pov.	Pov.	Pov.	Pov.	Pov.
		S. O.	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.
0°	a_{kvz} [m·s ⁻²]			2.23 ±0.53				
	t [s]			0.35 ±0.03				
30°	a_{kvz} [m·s ⁻²]		0.98 ±0.38	1.37 ±1.77	0.78 ±0.33	1.33 ±0.53		
	a_{kpr} [m·s ⁻²]		0.32 ±0.40	1.97 ±0.46	4.85 ±0.91	2.63 ±0.47		
	t [s]		0.28 ±0.08	0.29 ±0.07	0.26 ±0.04	0.25 ±0.04		
60°	a_{kvz} [m·s ⁻²]		0.51 ±0.23	0.86 ±0.40	0.73 ±0.74	-0.76 ±0.85	-0.25 ±0.71	
	a_{kpr} [m·s ⁻²]		0.40 ±0.80	2.41 ±0.74	5.71 ±0.93	3.94 ±0.51	3.16 ±0.53	
	t [s]		0.28 ±0.09	0.24 ±0.09	0.26 ±0.05	0.28 ±0.05	0.24 ±0.03	
90°	a_{kvz} [m·s ⁻²]		0.13 ±0.79	-1.02 ±0.59	-3.48 ±0.81	-2.63 ±0.70	-2.07 ±0.59	-1.09 ±0.91
	a_{kpr} [m·s ⁻²]		0.90 ±1.68	2.87 ±1.77	6.02 ±0.88	4.14 ±0.72	2.76 ±0.40	1.64 ±0.75
	t [s]		0.29 ±0.09	0.27 ±0.11	0.24 ±0.08	0.29 ±0.05	0.23 ±0.03	0.26 ±0.03
120°	a_{kvz} [m·s ⁻²]	0.50 ±0.61	-0.39 ±0.51	-3.26 ±1.06	-6.29 ±1.42	-5.29 ±0.93	-3.05 ±0.80	-1.85 ±0.39
	a_{kpr} [m·s ⁻²]	0.01 ±0.39	0.83 ±0.90	3.01 ±1.31	5.05 ±1.01	4.60 ±1.18	2.51 ±0.63	1.80 ±0.78
	t [s]	0.32 ±0.05	0.28 ±0.08	0.18 ±0.10	0.19 ±0.06	0.34 ±0.05	0.24 ±0.02	0.24 ±0.03
150°	a_{kvz} [m·s ⁻²]	0.16 ±0.55	-1.12 ±1.38	-5.08 ±1.90	-8.85 ±1.52	-6.83 ±1.41	-3.99 ±0.75	
	a_{kpr} [m·s ⁻²]	0.39 ±0.43	0.93 ±0.55	1.74 ±0.62	2.16 ±1.33	2.13 ±0.59	1.32 ±0.73	
	t [s]	0.29 ±0.07	0.29 ±0.07	0.15 ±0.05	0.19 ±0.06	0.36 ±0.04	0.24 ±0.03	
180°	a_{kvz} [m·s ⁻²]	0.08 ±0.18	-1.45 ±0.32	-5.13 ±1.35	-8.89 ±1.23	-7.05 ±1.40		
	t [s]	0.33 ±0.04	0.30 ±0.04	0.11 ±0.02	0.28 ±0.04	0.31± 0.03		

Legenda: N – velikost vzorca, Nss – nameravana sprememba smeri, kprs – korak pred korakom v stran, kpos – korak po koraku v stran, a_{kvz} – vzdolžni pospešek, a_{kpr} – prečni pospešek, t – čas, Pov – povprečje, S.O. – standardni odklon.

Preglednica 9: Povprečni vzdolžni in prečni pospešek, čas izvedbe koraka v korakih med pospeševanjem in zavijanjem iz srednje hitrega teka.

Nss	Enota	2 kprs	1 kprs	Korak v stran	1 kpos	2 kpos	3 kpos	4 kpos
	N	8	8	8	8	8	8	8
		Pov.	Pov.	Pov.	Pov.	Pov.	Pov.	Pov.
		S. O.	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.
0°	a_{kvz} [m·s ⁻²]			2.27 ±0.29				
	t [s]			0.29 ±0.04				
30°	a_{kvz} [m·s ⁻²]		1.68 ±0.80	0.82 ±0.92	-0.03 ±0.39	0.42 ±0.40		
	a_{kpr} [m·s ⁻²]		1.30 ±0.80	3.11 ±1.11	4.91 ±0.37	2.86 ±0.52		
	t [s]		0.22 ±0.05	0.20 ±0.05	0.21 ±0.04	0.26 ±0.04		
60°	a_{kvz} [m·s ⁻²]	-0.88 ±1.33	1.93 ±0.67	0.68 ±1.28	-1.15 ±1.47	-2.48 ±1.23	-1.04 ±0.58	
	a_{kpr} [m·s ⁻²]	0.41 ±0.63	1.80 ±1.07	4.24 ±0.58	6.00 ±0.41	4.19 ±0.46	2.81 ±0.44	
	t [s]	0.23 ±0.05	0.21 ±0.05	0.21 ±0.04	0.19 ±0.04	0.26 ±0.06	0.24 ±0.02	
90°	a_{kvz} [m·s ⁻²]	1.89 ±0.28	-0.61 ±1.92	-3.13 ±2.80	-4.80 ±1.18	-3.39 ±2.01	-3.02 ±0.75	-1.23 ±1.30
	a_{kpr} [m·s ⁻²]	0.28 ±0.17	2.21 ±2.07	3.87 ±3.50	5.42 ±1.34	2.51 ±4.68	3.33 ±0.38	1.95 ±0.15
	t [s]	0.29 ±0.02	0.21 ±0.06	0.15 ±0.07	0.25 ±0.05	0.30 ±0.04	0.28 ±0.03	0.23 ±0.03
120°	a_{kvz} [m·s ⁻²]	0.38 ±1.10	-0.90 ±1.18	-4.07 ±1.39	-8.02 ±1.40	-6.04 ±0.72	-3.60 ±0.64	-1.86 ±0.73
	a_{kpr} [m·s ⁻²]	0.40 ±0.39	1.33 ±0.72	2.55 ±0.89	4.47 ±0.65	4.33 ±1.01	2.28 ±0.64	1.96 ±0.41
	t [s]	0.27 ±0.07	0.22 ±0.07	0.15 ±0.04	0.22 ±0.03	0.34 ±0.04	0.23 ±0.04	0.28 ±0.05
150°	a_{kvz} [m·s ⁻²]	-0.23 ±1.04	-2.04 ±2.31	-4.59 ±3.07	-8.15 ±1.70	-6.64 ±3.08	-3.67 ±1.15	
	a_{kpr} [m·s ⁻²]	0.75 ±0.41	0.43 ±0.62	0.39 ±0.70	0.91 ±0.68	2.84 ±0.59	1.70 ±0.89	
	t [s]	0.27 ±0.04	0.23 ±0.06	0.19 ±0.02	0.29 ±0.13	0.31 ±0.09	0.24 ±0.02	
180°	a_{kvz} [m·s ⁻²]	-0.23 ±1.09	-2.11 ±1.46	-5.30 ±0.73	-10.34 ±1.02	-6.44 ±1.96		
	t [s]	0.29 ±0.08	0.20 ±0.08	0.16 ±0.02	0.35 ±0.16	0.35 ±0.09		

Legenda: N – velikost vzorca, Nss – nameravana sprememba smeri, kprs – korak pred korakom v stran, kpos – korak po koraku v stran, a_{kvz} – vzdolžni pospešek, a_{kpr} – prečni pospešek, t – čas, Pov – povprečje, S.O. – standardni odklon.

V Preglednici 9 so za korake, pri katerih je prišlo do zmanjšanja maksimalne višine T2,4, do korakov, kjer je bilo zavijanje med pospeševanjem večje kot 3°, prikazane povprečne vrednosti in standardni odkloni pospeškov v vzdolžni in prečni smeri ter čas izvedbe korakov pri pospeševanju naravnost in pri pospeševanju in zavijanju za različne kote iz srednje hitrega teka.

6.2.2 POSPEŠKI IN ČAS, POTREBEN ZA IZVEDBO KORAKOV PRI POSPEŠEVANJU IN ZAVIJANJU PO VARANJU Z ŽOGO

Preglednica 10: Povprečni vzdolžni in prečni pospešek, čas izvedbe koraka v korakih med izvedbo V60.

	Pzach	Pzacs	Enota		2	3	4	5	
	[m·s ⁻²]	[°]	N	K1užz	kpos	kpos	kpos	kpos	
Pov.	1.29	49.92	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	2.89	1.93	1.65	0.61	0.37
S. O.	0.18	5.63			0.48	0.71	0.52	0.55	0.59
Pov.			a_{kpr}	[m·s ⁻²]	3.04	3.71	1.58	2.05	1.82
S. O.					0.46	0.66	0.55	0.56	0.52
Pov.			t	[s]	0.18	0.33	0.26	0.26	0.26
S. O.					0.05	0.08	0.03	0.06	0.06
Pov.	2.94	22.81	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	0.65	-0.27	-0.06	-0.36	-0.32
S. O.	0.20	6.60			0.43	0.69	0.65	0.79	0.61
Pov.			a_{kpr}	[m·s ⁻²]	3.15	3.76	2.44	2.00	1.21
S. O.					0.81	0.57	0.72	0.72	0.52
Pov.			t	[s]	0.16	0.31	0.26	0.26	0.25
S. O.					0.04	0.06	0.02	0.05	0.04
Pov.	3.91	28.03	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	-0.85	-1.25	-0.85	0.01	0.14
S. O.	0.25	6.65			0.72	1.21	1.00	0.66	0.41
Pov.			a_{kpr}	[m·s ⁻²]	3.82	3.81	3.04	1.94	0.97
S. O.					0.50	1.10	0.76	0.45	0.38
Pov.			t	[s]	0.09	0.28	0.24	0.26	0.24
S. O.					0.04	0.04	0.05	0.03	0.04

Legenda: N – velikost vzorca, Pzach – povprečna začetna hitrost, Pzacs – povprečna začetna smer, K1užz – korak prvega udarca po žogi pri zavijanju, kpos – korak po koraku v stran, a_{kvz} – vzdolžni pospešek, a_{kpr} – prečni pospešek, t – čas, Pov – povprečje, S.O. – standardni odklon.

Za izvedbo V60 smo pri različnih začetnih hitrostih izračunali vzdolžni in prečni pospešek ter čas izvedbe dela koraka po koraku v stran, ko je nogometaš že udaril žogo predse, in še štirih sledečih korakov, na katere je vplivala prisotnost žoge (Preglednica 10).

Preglednica 11: Povprečni vzdolžni in prečni pospešek, čas izvedbe koraka v korakih med izvedbo V45.

	Pzach	Pzacs		Enota	K1užz	2	3	4	5
	[m·s ⁻²]	[°]	N		8	kpos	kpos	kpos	kpos
Pov.	1.29	28.22	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	1.99	2.10	1.27	1.73	1.25
S. O.	0.36	10.08			1.00	0.43	0.53	0.69	0.64
Pov.			a_{kpr}	[m·s ⁻²]	5.73	2.62	2.30	1.12	1.25
S. O.					0.88	0.61	0.30	0.38	0.66
Pov.			t	[s]	0.21	0.33	0.24	0.23	0.29
S. O.					0.06	0.03	0.05	0.03	0.04
Pov.	3.03	24.24	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	0.22	0.91	0.72	0.89	0.46
S. O.	0.22	8.52			0.82	0.69	0.67	0.44	0.62
Pov.			a_{kpr}	[m·s ⁻²]	4.70	2.38	2.24	1.32	1.42
S. O.					1.09	0.71	0.61	0.38	0.69
Pov.			t	[s]	0.18	0.26	0.25	0.24	0.29
S. O.					0.05	0.03	0.04	0.02	0.06
Pov.	3.96	16.63	a_{kvz}	[m·s ⁻²]	-1.26	0.23	-0.18	0.11	0.10
S. O.	0.22	8.25			1.78	1.17	0.81	0.82	1.34
Pov.			a_{kpr}	[m·s ⁻²]	7.75	2.10	3.42	1.02	2.07
S. O.					4.74	2.55	1.68	1.88	1.66
Pov.			t	[s]	0.13	0.28	0.25	0.24	0.28
S. O.					0.07	0.05	0.04	0.06	0.04

Legenda: N – velikost vzorca, Pzach – povprečna začetna hitrost, Pzacs – povprečna začetna smer, K1užz – korak prvega udarca po žogi pri zavijanju, kpos – korak po koraku v stran, a_{kvz} – vzdolžni pospešek, a_{kpr} – prečni pospešek, t – čas, Pov – povprečje, S.O. – standardni odklon.

Za izvedbo V45 smo pri različnih začetnih hitrostih izračunali vzdolžni in prečni pospešek ter čas izvedbe dela koraka po koraku v stran, ko je nogometaš že udaril

žogo predse, in še štirih sledečih korakov, na katere je vplivala tudi prisotnost žoge (Preglednica 11).

6.2.3 POSPEŠEVANJE NARAVNOST

Preglednica 12 prikazuje povprečne vrednosti in standardne odklone, s pomočjo katerih je mogoče opredeliti pospeševanje naravnost iz mirovanja do maksimalne hitrosti na razdalji 10 m, pri čemer je izvzet uvodni korak, v katerem se zgodi prehod v pospeševanje naravnost.

Preglednica 12: Spremenljivke maksimalnega pospeševanja naravnost iz mirovanja po začetku koraka, ki sledi uvodnemu koraku, do maksimalne hitrosti teka na razdalji 10 m.

Spremenljivka	Povprečje	S. O.
f (N/kg)	6.85	0.42
σ (1/s)	-0.84	0.10

Legenda: S. O. – standardni odklon, f – sila na enoto mase športnika, σ - parameter modela.

6.3 SIMULACIJA VARANJA Z ŽOGO MIMO OBRAMBNEGA IGRALCA

Računali smo pogoje, kjer trajektorije gibanja napadalčevih krajnih točk ne sekajo daljice začetnih točk obrambnega igralca. Pri teh pogojih se je moral obrambni igralec premakniti iz začetnega položaja, da je prestregel napadalca.

6.3.1 Najmanjša smiselna začetna razdalja pri varanju z žogo

Najmanjša smiselna začetna razdalja napadalca je odvisna od začetne hitrosti napadalca in izbire kota spremembe smeri napadalca pri varanju z žogo. Kadar je

napadalec izvedel V45 iz mirovanja, je bila najmanjša začetna razdalja, ko napadalec ni sekal začetnega položaja obrambnega igralca, 0.6 m, medtem ko je bila pri izvedbah V60 iz mirovanja 0.5 m. Kadar je napadalec izvedel V45 ali V60 iz počasnega teka, je bila najmanjša začetna razdalja, ko napadalec ni sekal začetnega položaja obrambnega igralca, 0.8 m. Kadar je napadalec izvedel V45 iz srednje hitrega teka, je bila najmanjša začetna razdalja, ko napadalec ni sekal začetnega položaja obrambnega igralca, 0.9 m, medtem ko je bila pri izvedbah V60 iz mirovanja 0.8 m.

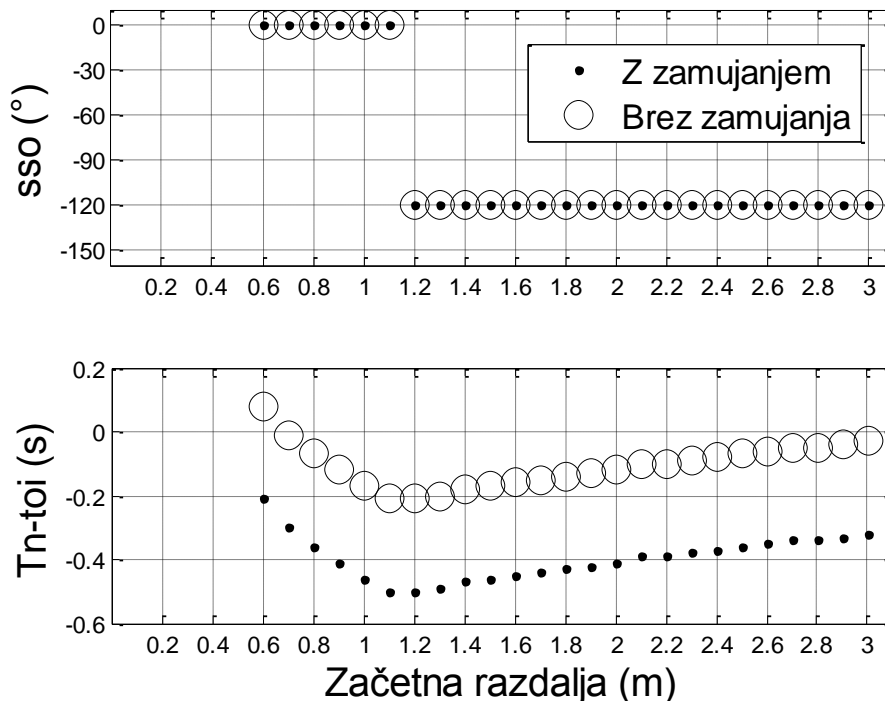
6.3.2 Razlika v času prihoda v točko srečanja med napadalcem in obrambnim igralcem, če obrambni igralec spremeni smer za najustreznejši kot

Na osnovi simuliranih časov smo ugotavljali časovne razlike do srečanja med napadalcem in obrambnim igralcem.

Izvedba varanja z žogo iz mirovanja

Če je napadalec izvedel V45 iz mirovanja proti mirujočemu obrambnemu igralcu (Slika 7), so bile maksimalne vrednosti časovnih razlik do točke srečanja glede na simulirane spremembe smeri obrambnega igralca pri določeni začetni razdalji ($Maks\check{c}r < 0$) v primeru, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.5 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem ali na začetni razdalji, večji od 0.6 m, če je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost. Na začetnih razdaljah 1.5 m in 3 m se je Maksčr pojavila, če je pospeševal s spremembo smeri za kot -120°

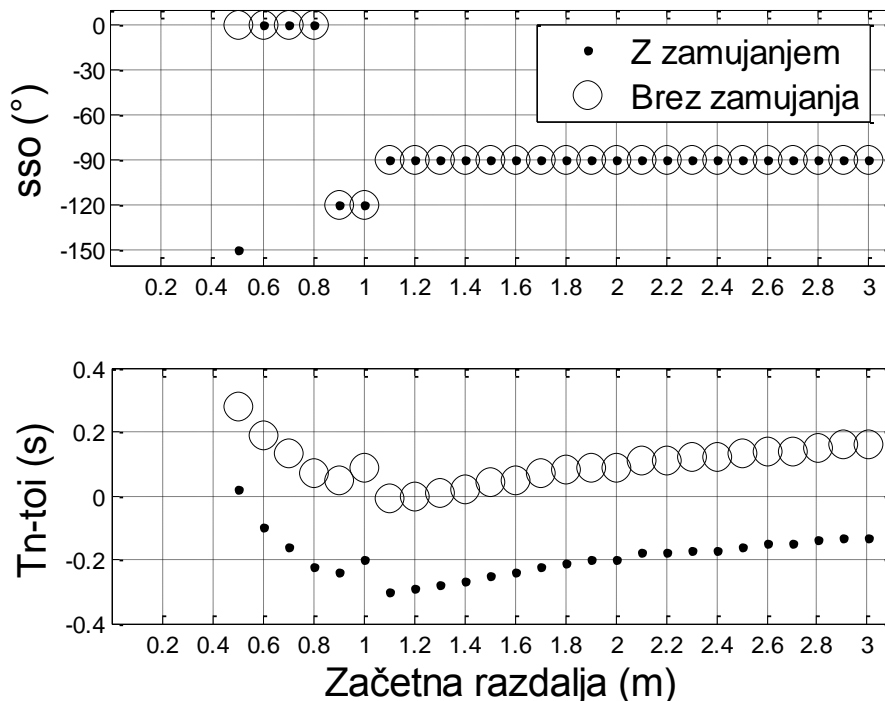
Slika 7: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar igralca na začetku mirujeta in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.



Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Kadar je napadalec izvedel V60 iz mirovanja proti mirujočemu obrambnemu igralcu (Slika 8), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.5 m, in je obrambni igralec začel pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem ali na začetni razdalji večji od 1.1 m, ko je obrambni igralec začel pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je po času zamujanja pospeševal in spreminjal smer za kot -150° ali brez zamujanja pospeševal naravnost. Na začetnih razdaljah 1.5 m in 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal s spremembo smeri za kot -90°.

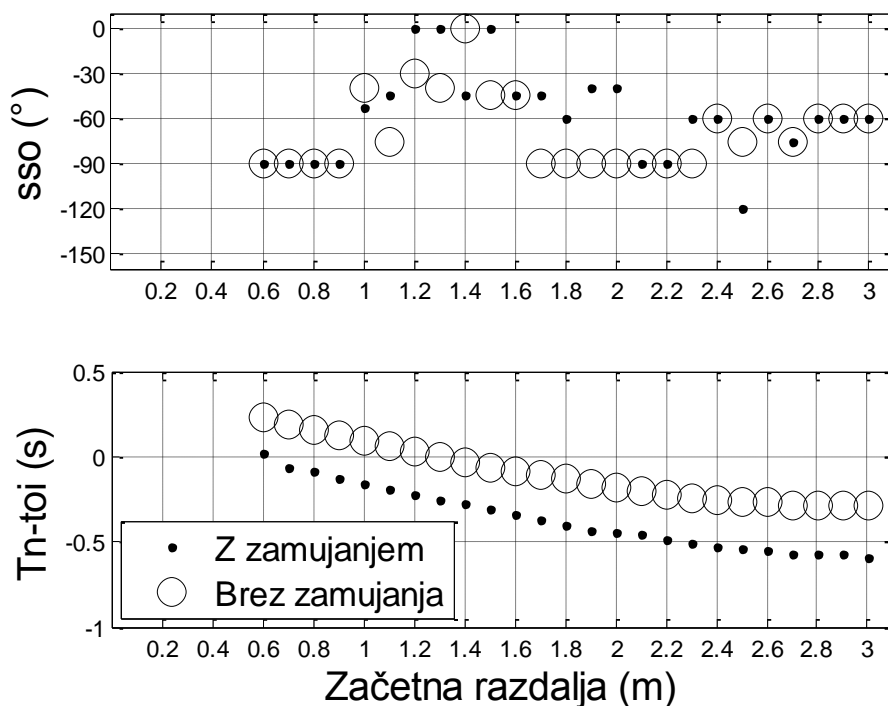
Slika 8: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar igralca na začetku mirujeta in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.



Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Če je napadalec izvedel V45 iz mirovanja proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v počasnem teku (Slika 9), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.6 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem ali na začetnih razdaljah, večjih od 1.3 m, ko je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali spreminjal smer za kote od -30° do -180°, kar pomeni za povprečni kot -90°. Na začetni razdalji 1.5 m se je pri obrambnem igralcu, ki je zamujal z reakcijo, pojavila pri pospeševanju naravnost in če ni zamujal pri pospeševanju naravnost ali s spremembo smeri za kot -90°, kar pomeni za povprečni kot -45°. Na začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -60°.

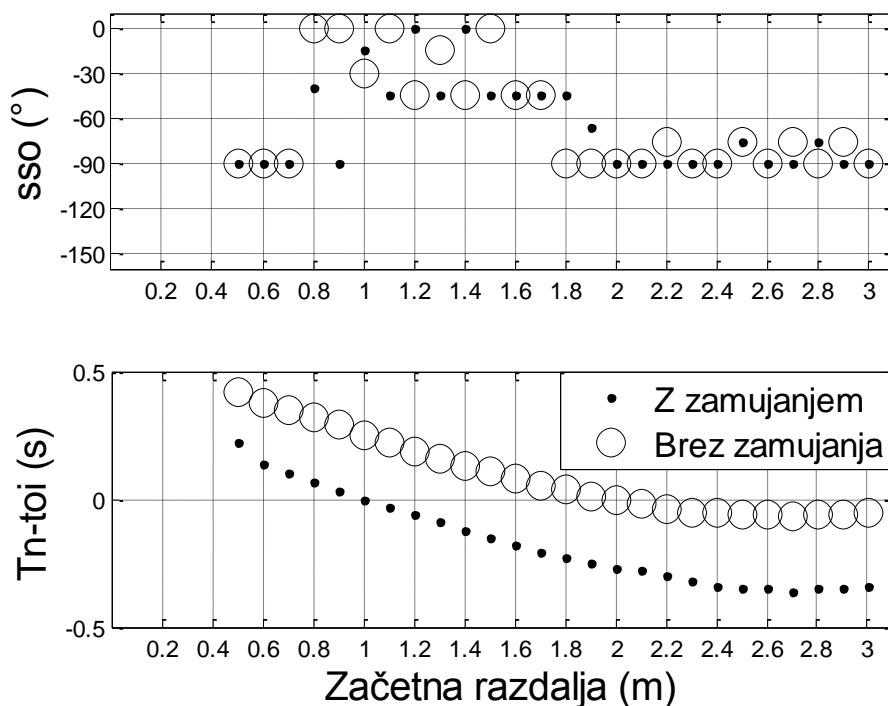
Slika 9: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se mirujočemu napadalcu približuje obrambni igralec v počasnem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.



Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Kadar je napadalec izvedel V60 iz mirovanja proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v počasnem teku (Slika 10), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah nad 1.0 m in je obrambni igralec začel pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja za začetne razdalje nad 2.0 m, ko je obrambni igralec začel pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali spreminjal smer za kote od -30° do -180° , kar pomeni za povprečni kot -90° . Na začetni razdalji 1.5 m se je pri obrambnem igralcu, ki je zamujal z reakcijo, pojavila pri pospeševanju naravnost ali s spremembo smeri za kot -90° , kar pomeni za povprečni kot -45° in če ni zamujal pri pospeševanju naravnost. Na začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -90° .

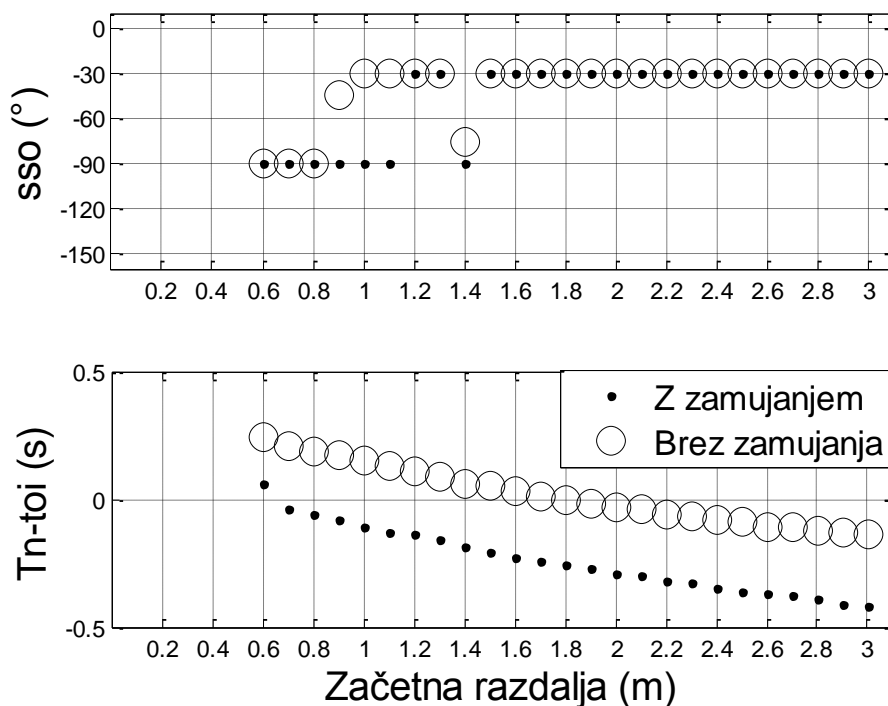
Slika 10: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se mirujočemu napadalcu približuje obrambni igralec v počasnem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.



Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Če je napadalec izvedel V45 iz mirovanja proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v srednje hitrem teku (Slika 11), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.6 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja na začetnih razdaljah, večjih od 1.8 m, ko je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali spreminjal smer za kote od -30° do -180°, kar pomeni za povprečni kot -90°. Na začetnih razdaljah 1.5 m in 3.0 m se je pojavila pri pospeševanju in spremembi smeri za kot -30°.

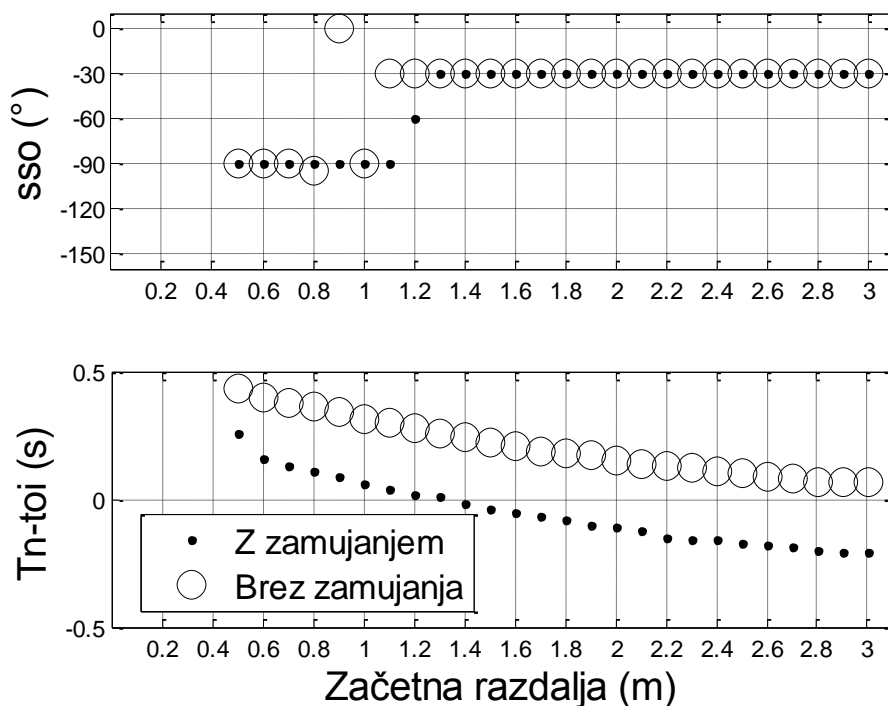
Slika 11: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se mirujočemu napadalcu približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.



Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Kadar je napadalec izvedel V60 iz mirovanja proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v srednje hitrem teku (Slika 12), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah, večjih od 1.3 m, in je obrambni igralec začel pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali spreminjal smer za kote od -30° do -180°, kar pomeni za povprečni kot -90°. Na začetnih razdaljah 1.5 m in 3.0 m se je pojavila pri pospeševanju in spremembi smeri za kot -30°.

Slika 12: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se mirujočemu napadalcu približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.

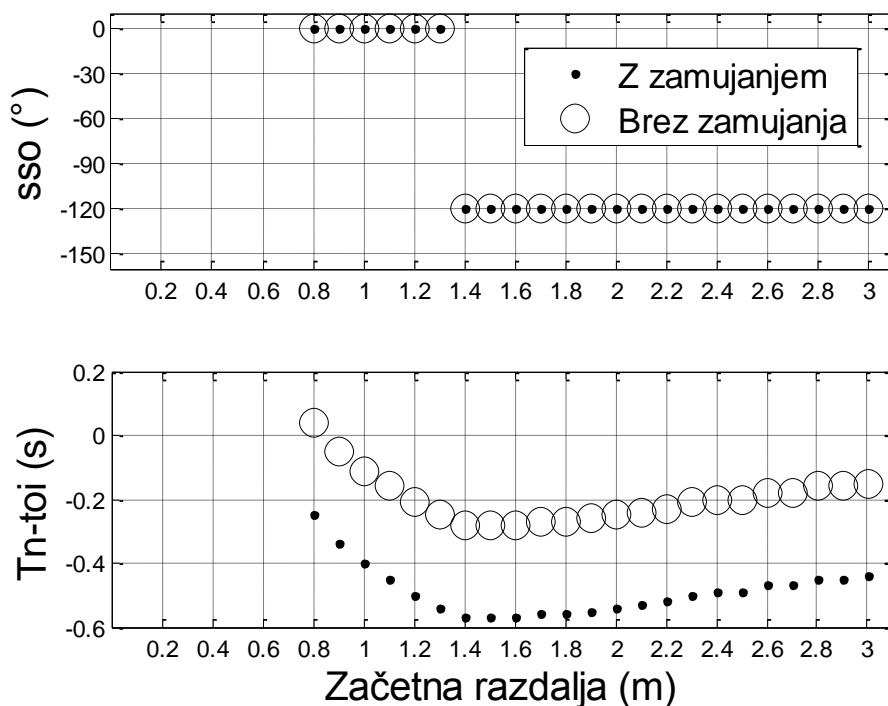


Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Izvedba varanja z žogo iz počasnega teka

Če je napadalec izvedel V45 iz počasnega teka proti mirujočemu obrambnemu igralcu (Slika 13), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.7 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.8 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost. Na začetnih razdaljah 1.5 m in 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal s spremembo smeri za kot -120° (Slika 13).

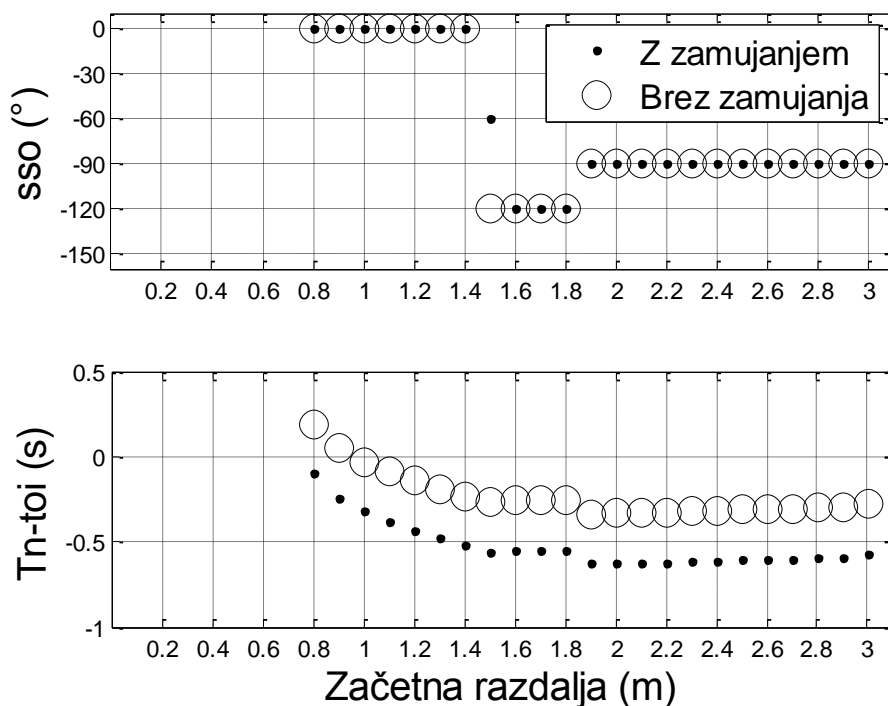
Slika 13: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec giblje s počasnim tekom proti mirujočemu obrambnemu igralcu in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.



Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Kadar je napadalec izvedel V60 iz počasnega teka proti mirujočemu obrambnemu igralcu (Slika 14), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah, večjih od 0.7 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja za položaj, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.9 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost. Na začetni razdalji 1.5 m se je pri obrambnem igralcu, ki je zamujal z reakcijo, pojavila pri pospeševanju naravnost ali s spremembo smeri za kot -120° , kar pomeni povprečno za -60° , in če ni zamujal pri pospeševanju s spremembo smeri, za kot -120° . Na začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -90° .

Slika 14: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec giblje s počasnim tekom proti mirujočemu obrambnemu igralcu in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.

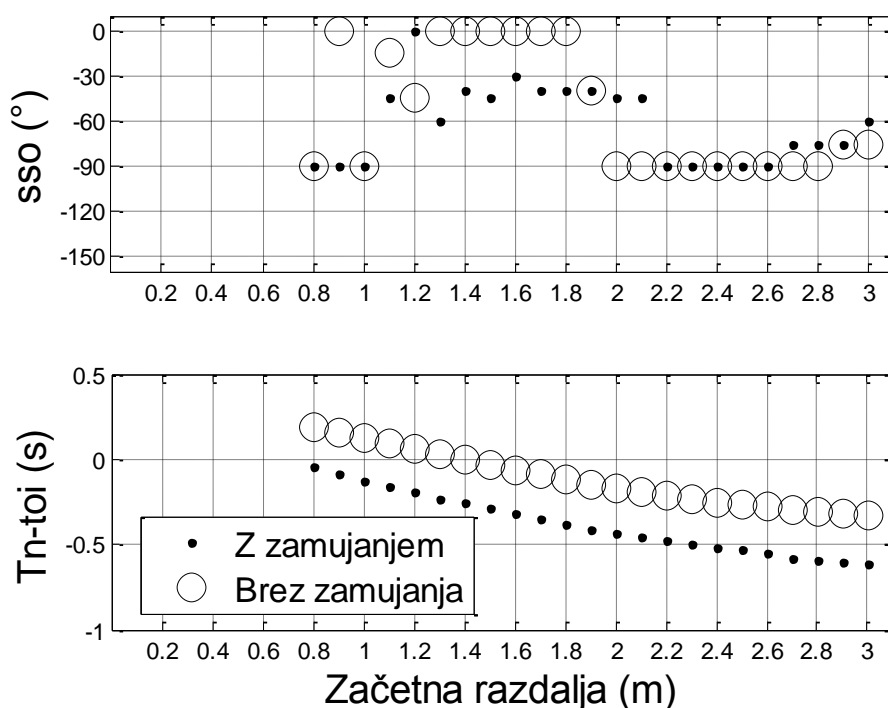


Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Če je napadalec izvedel V45 iz počasnega teka proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v počasnem teku (Slika 15), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah, večjih od 0.7 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja za položaj, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah, večjih od 1.4 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali s spremembo smeri za kote od -30° do -180° , kar pomeni povprečno za kot -90° . Na začetni razdalji 1.5 m se je pri obrambnem igralcu, ki je zamujal z reakcijo, pojavila pri pospeševanju naravnost ali s spremembo smeri za -90° , kar pomeni povprečno za kot -45° in če ni zamujal pri pospeševanju naravnost. Na začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila,

ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -60° , če je zamujal, in -60° ali -90° , kar pomeni povprečno za kot -75° , če ni zamujal.

Slika 15: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec in obrambni igralec drug drugemu približujeta v počasnem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.

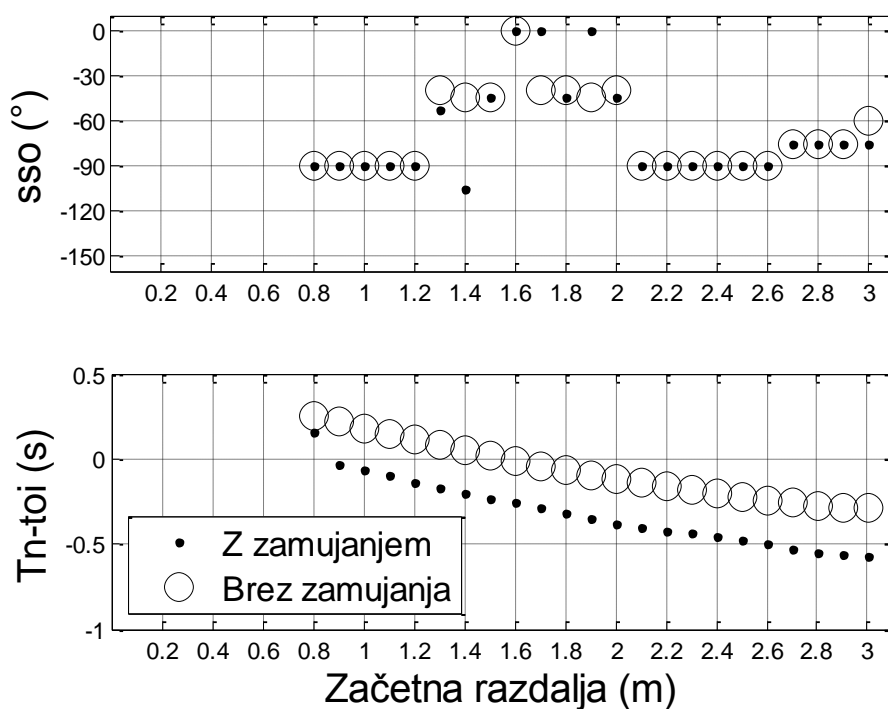


Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Kadar je napadalec izvedel V60 iz počasnega teka proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v počasnem teku (Slika 16), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila obrambna igralca na začetni razdalji, večji od 0.8 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja za položaj, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah, večjih od 1.5 m, in je obrambni igralec začel pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali s spremembo smeri za kote od -30° do -180° , kar pomeni povprečno za kot -90° . Na začetni razdalji 1.5 m se je pri obrambnem igralcu pojavila pri pospeševanju naravnost ali s spremembo

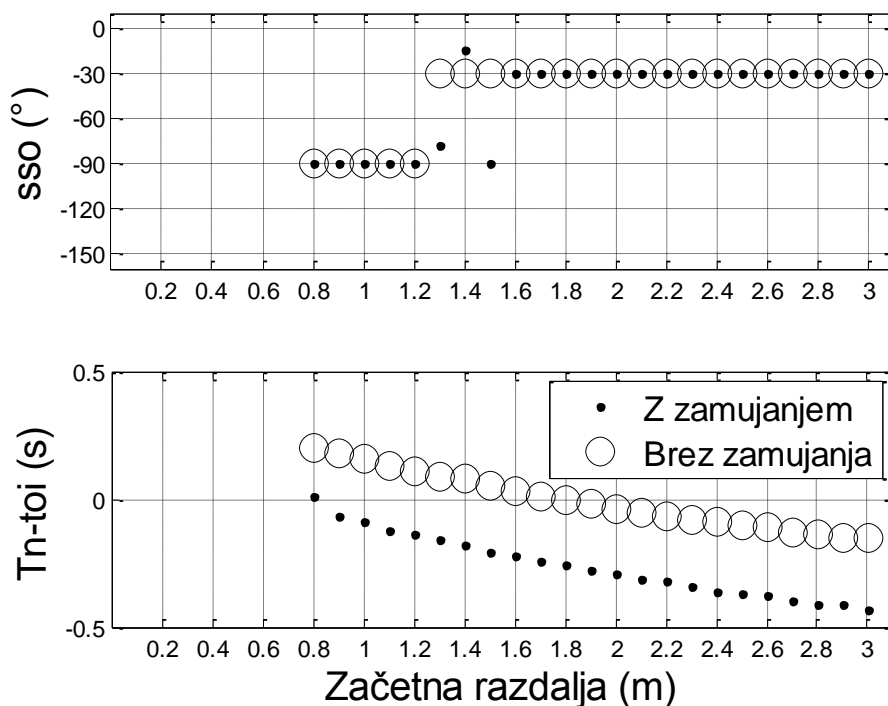
smeri za kot -90° , kar pomeni povprečno za kot -45° . Na začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kote od -60° do -90° , kar pomeni povprečno za kot -75° , če je zamujal, in -60° , če ni zamujal.

Slika 16: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec in obrambni igralec drug drugemu približujeta v počasnem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.



Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Slika 17: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalcu, ki se giblje v počasnem teku, približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.

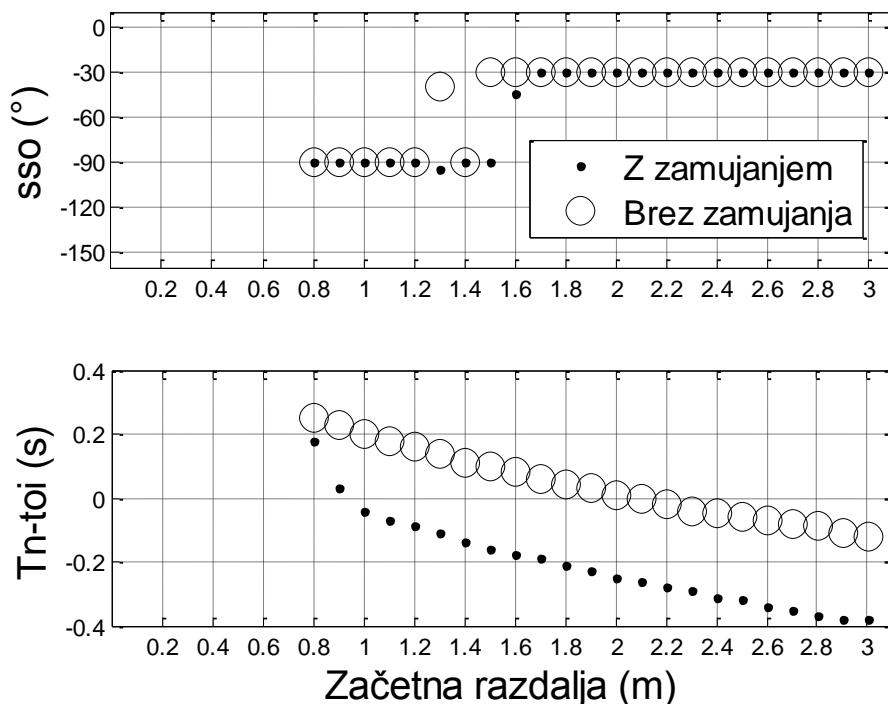


Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Če je napadalec izvedel V45 iz počasnega teka proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v srednje hitrem teku (Slika 17), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.8 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer s časom zamujanja. Enako velja, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah, večjih od 1.8 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer brez časa zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali s spremembo smeri za kote od -30° do -180°, kar pomeni povprečno za kot -90°. Na začetni razdalji 1.5 m se je pri obrambnem igralcu, ki je zamujal z reakcijo, pojavila pri pospeševanju naravnost ali s spremembo smeri za kote od -30° do -180°, kar pomeni povprečno za kot -90°, in če ni zamujal, pri pospeševanju s spremembo smeri za kot -30°. Na

začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -30° .

Slika 18: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalcu, ki se giblje v počasnem teku, približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.



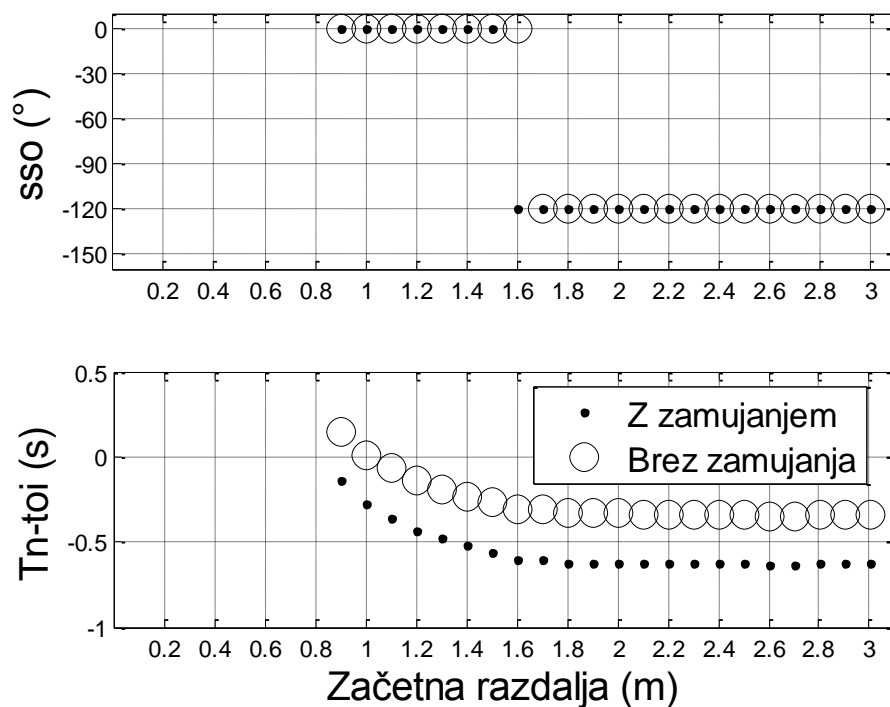
Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Kadar je napadalec izvedel V60 iz počasnega teka proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v srednje hitrem teku (Slika 18), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah, večjih od 0.9 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah, večjih od 2.1 m, in je obrambni igralec začel pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali s spremembo smeri za kote od -30° do -180° , kar pomeni povprečno za kot -90° . Na začetni razdalji 1.5 m se je pri obrambnem igralcu, ki je zamujal z reakcijo, pojavila pri pospeševanju

naravnost ali s spremembo smeri za kote od -30° do -180° , kar pomeni povprečno za kot -90° , in če ni zamujal, pri pospeševanju s spremembo smeri za kot -30° . Na začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -30° .

Izvedba varanja z žogo iz srednje hitrega teka

Slika 19: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec giblje s srednje hitrim tekom proti mirujočemu obrambnemu igralcu in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.

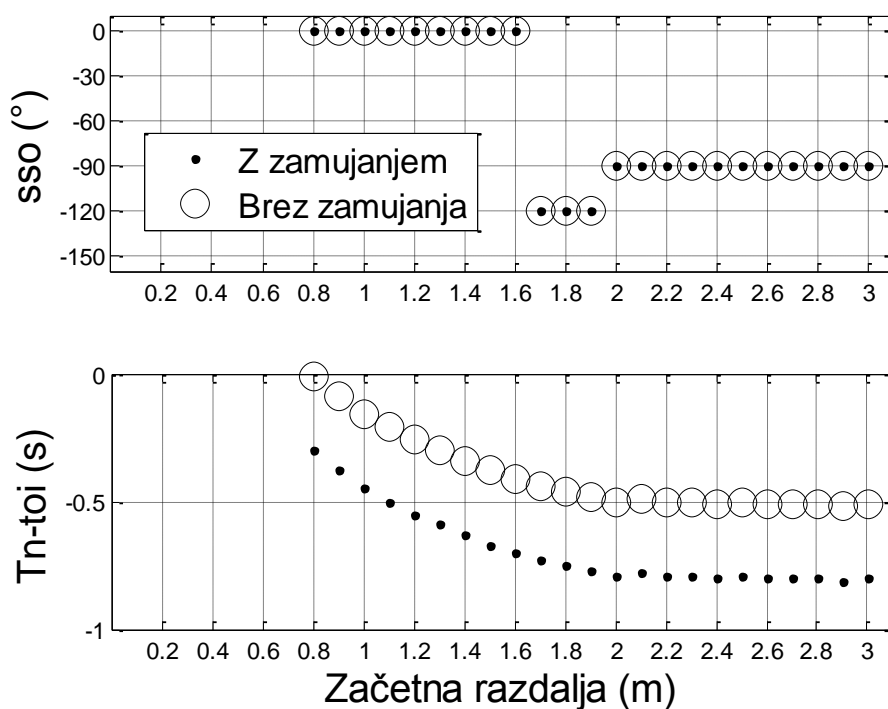


Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Če je napadalec izvedel V45 iz srednje hitrega teka proti mirujočemu obrambnemu igralcu (Slika 19), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah, večjih od 0.8 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja za položaj, ko sta bila igralca na začetni razdalji,

večji od 1.0 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji in začetni razdalji 1.5 m pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost. Na začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -120° .

Slika 20: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec giblje s srednje hitrim tekom proti mirujočemu obrambnemu igralcu in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.



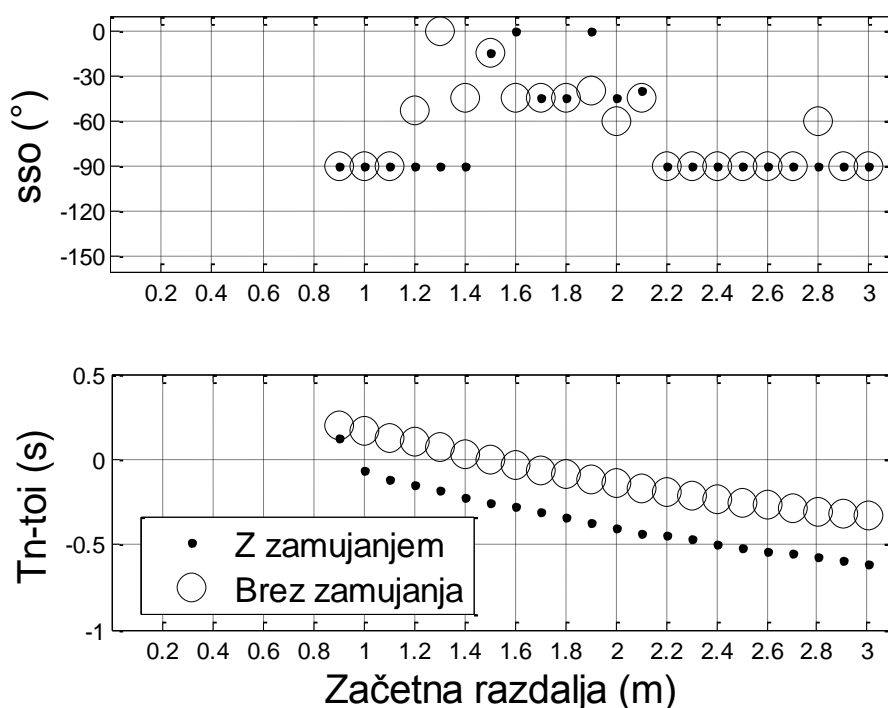
9

Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Kadar je napadalec izvedel V60 iz srednje hitrega teka proti mirujočemu obrambnemu igralcu (Slika 20), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetnih razdaljah, večjih od 0.7 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem ali brez zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji in začetni razdalji 1.5 m pojavila pri obrambnem igralcu, ki je

pospeševal naravnost. Na začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -90° .

Slika 21: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec v srednje hitrem teku približuje obrambnemu igralcu, ki se giblje v počasnem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.

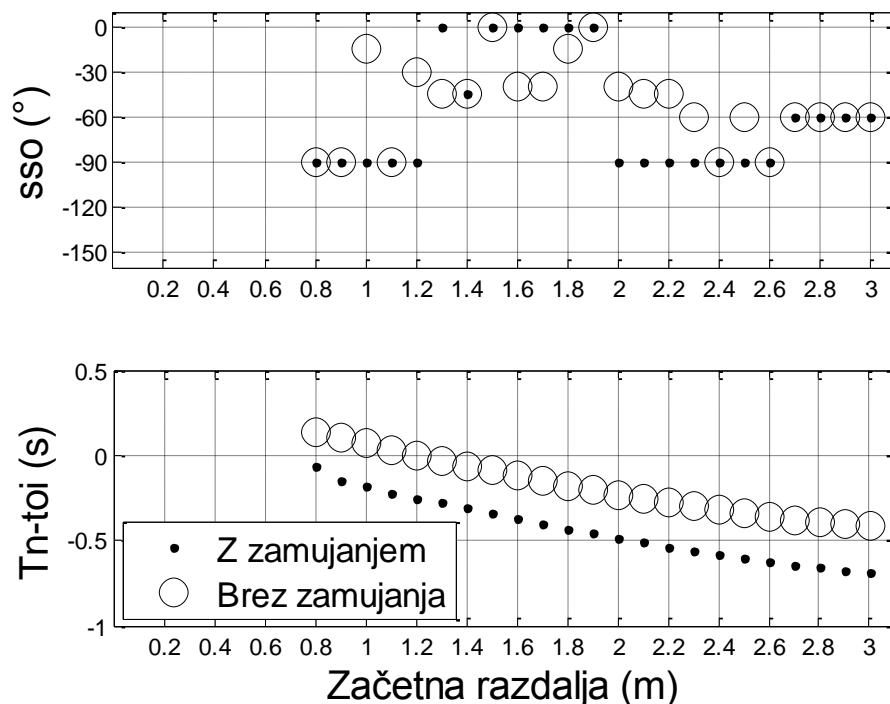


Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Če je napadalec izvedel V45 iz srednje hitrega teka proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v počasnem teku (Slika 21), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.9 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja na začetnih razdaljah, večjih od 1.5 m, ko je začel obrambni igralec pospeševati brez časa zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali s spremembo smeri za kote od -30° do -180° , kar pomeni povprečno za kot -90° . Na začetni razdalji 1.5 m se je pojavila, če je pospeševal naravnost ali s spremembo smeri za kot -30° , kar pomeni povprečno za kot -15° . Na začetni razdalji

3.0 m, se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -90° .

Slika 22: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalec v srednje hitrem teku približuje obrambnemu igralcu, ki se giblje v počasnem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.

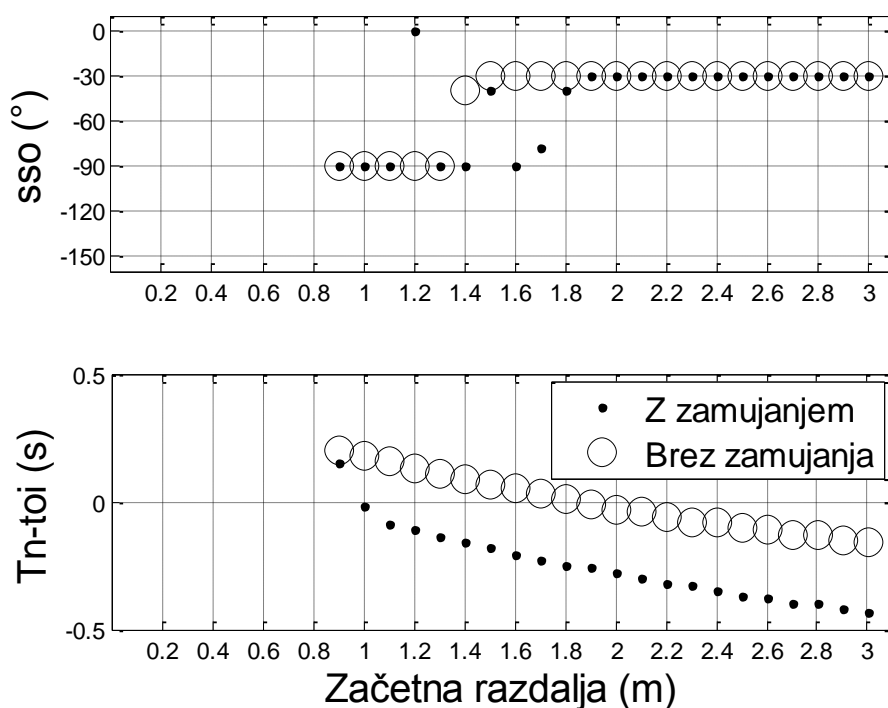


Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Kadar je napadalec izvedel V60 iz srednje hitrega teka proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v počasnem teku (Slika 22), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.7 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja na začetnih razdaljah, večjih od 1.2 m, ko je začel obrambni igralec pospeševati brez časa zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali s spremembo smeri za kote od -30° do -180° , kar pomeni povprečno za kot -90° . Na začetni razdalji 1.5 m se je pojavila, če je pospeševal naravnost. Na

začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -60° .

Slika 23: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri obrambnega igralca med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalcu, ki se giblje v srednje hitrem teku, približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V45 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.

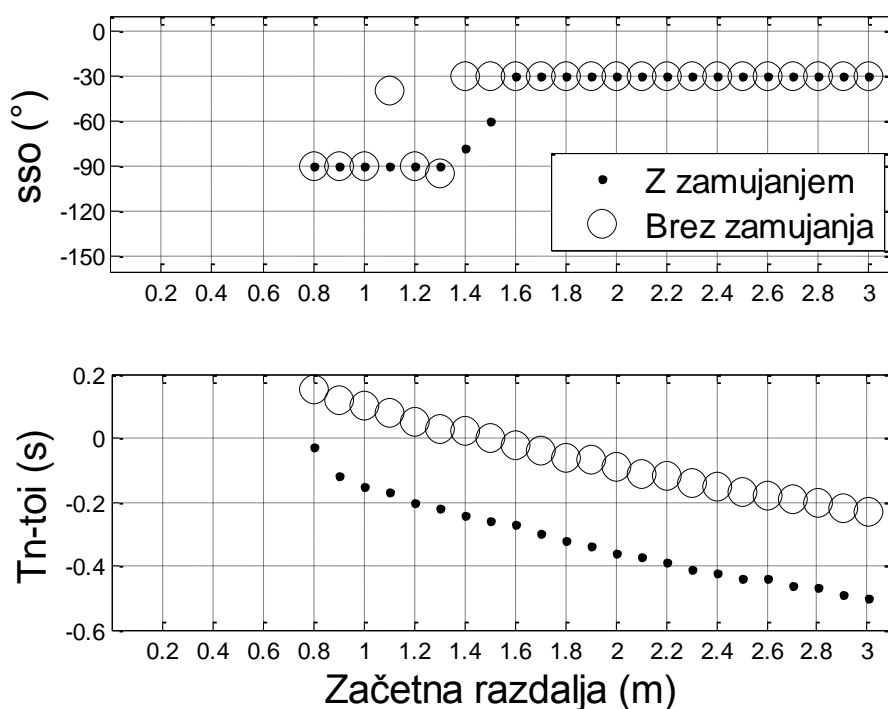


Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Če je napadalec izvedel V45 iz srednje hitrega teka proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v srednje hitrem teku (Slika 23), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.9 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja na začetnih razdaljah, večjih od 1.8 m, ko je začel obrambni igralec pospeševati brez časa zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali s spremembo smeri za kote od -30° do -180° , kar pomeni povprečno za kot -90° . Na začetni razdalji 1.5 m se je pri obrambnem igralcu, ki je zamujal z reakcijo, pojavila pri pospeševanju naravnost ali s spremembami smeri za kote -30°

in -90° , kar pomeni povprečno za kot -40° , in če ni zamujal, pri pospeševanju s spremembo smeri za kot -30° . Na začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -30° .

Slika 24: Povprečne vrednosti kotov sprememb smeri med pospeševanjem pri Maksčr, kadar se napadalcu, ki se giblje v srednje hitrem teku, približuje obrambni igralec v srednje hitrem teku in napadalec izvede V60 v odvisnosti od začetne razdalje med napadalcem in obrambnim igralcem.



Legenda: Tn – čas napadalca do točke srečanja, toi – čas obrambnega igralca do točke srečanja, sso – sprememba smeri obrambnega igralca.

Kadar je napadalec izvedel V60 iz srednje hitrega teka proti obrambnemu igralcu, ki se je gibal v srednje hitrem teku (Slika 24), so bile Maksčr < 0 v primeru, ko sta bila igralca na začetni razdalji, večji od 0.7 m, in je začel obrambni igralec pospeševati in spreminjati smer z zamujanjem. Enako velja na začetnih razdaljah, večjih od 1.5 m, ko je začel obrambni igralec pospeševati brez časa zamujanja. Maksčr se je na najmanjši smiselni začetni razdalji pojavila pri obrambnem igralcu, ki je pospeševal naravnost ali s spremembami smeri od -30° do -180° , kar pomeni povprečno za kot -90° . Na začetni razdalji 1.5 m se je pri obrambnem igralcu, ki je zamujal z reakcijo, pojavila pri pospeševanju s spremembami smeri za kote -30° in -90° , kar pomeni

povprečno za kot -60° , in če ni zamujal, pri pospeševanju s spremembo smeri za kot -30° . Na začetni razdalji 3.0 m se je Maksčr pojavila, ko je obrambni igralec pospeševal in spreminjal smer za kot -30° .

6.3.3 Za napadalca najugodnejša začetna razdalja pri varanju z žogo

Minimalne vrednosti maksimalnih časovnih razlik Minmaksčr predstavljajo izvedbo varanja z žogo na za napadalca najugodnejši začetni razdalji (čim nižja vrednost razlike prihodov v točko srečanja med napadalcem in obrambnim igralcem), pri čemer obrambni igralec reagira pod zanj najugodnejšim kotom. V Preglednici 13 so prikazane za napadalca najugodnejše začetne razdalje za varanje z žogo pri različnih začetnih hitrostih napadalca oz. obrambnega igralca.

Preglednica 13: Za napadalca najugodnejše začetne razdalje pri izvedbi varanja z žogo, ko obrambni igralec reagira pod zanj najugodnejšim kotom.

Velikost vzorca	Hitrost napadalca	Hitrost obrambnega igralca	Začetna razdalja	
	[m·s ⁻¹]	[m·s ⁻¹]	[m]	
			V45	V60
8	0	0	1.2	1.2
8	0	2.8	3.0	2.7
8	0	4.2	3.0	3.0
8	2.8	0	1.5	1.9
8	2.8	2.8	3.0	3.0
8	2.8	4.2	3.0	3.0
8	4.2	0	2.7	2.9
8	4.2	2.8	3.0	3.0
8	4.2	4.2	3.0	3.0

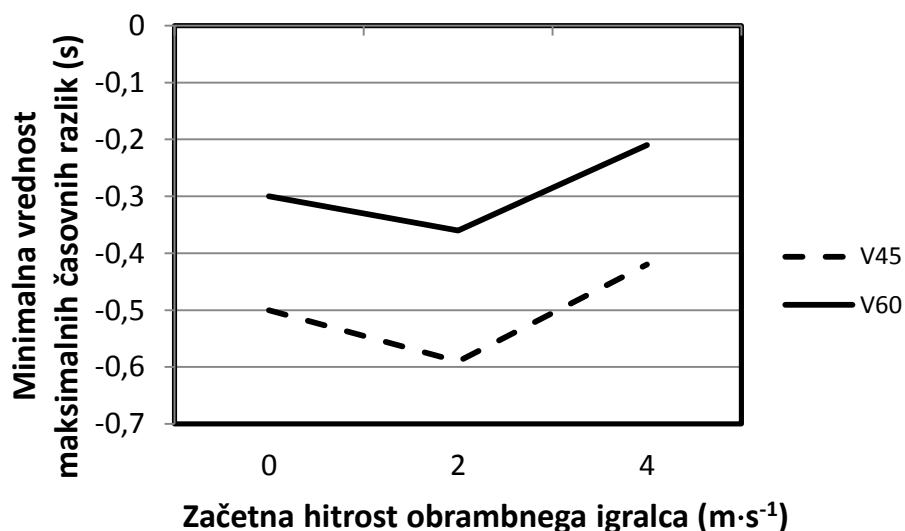
Za napadalca najugodnejše začetne razdalje so manjše od 3.0 m za V45 in V60, ne glede na začetno hitrost napadalca, če obrambni igralec miruje, ali za V60, če se obrambni igralec giblje s počasnim tekom proti mirujočemu napadalcu.

Rezultat se med V45 in V60 razlikuje v primeru, ko napadalec miruje in se obrambni igralec približuje v počasnem teku, pri čemer je najugodnejša začetna razdalja krajša pri V60. Rezultat se razlikuje še, ko se napadalec giblje v počasnem ali srednje hitrem teku proti mirujočemu obrambnemu igralcu, pri čemer je najugodnejša razdalja krajša pri V45.

6.3.4 Primerjava uspešnosti varanj V45 in V60

Če sta napadalec in obrambni igralec mirovala ali če se je mirujočemu napadalcu obrambni igralec približeval s počasnim ali srednje hitrim tekom in sta bila obrnjena eden proti drugemu, je bila Minmaksčr manjša pri V45 kot pri V60 (Slika 25).

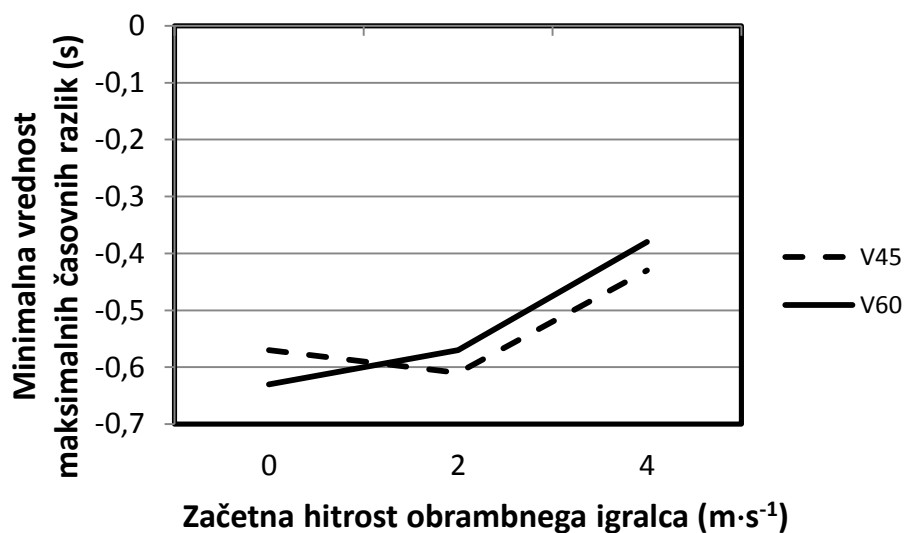
Slika 25: Minmaksčr, če napadalec izvede varanje z žogo iz mirovanja, pri čemer obrambni igralec reagira z zamujanjem iz različnih začetnih hitrosti.



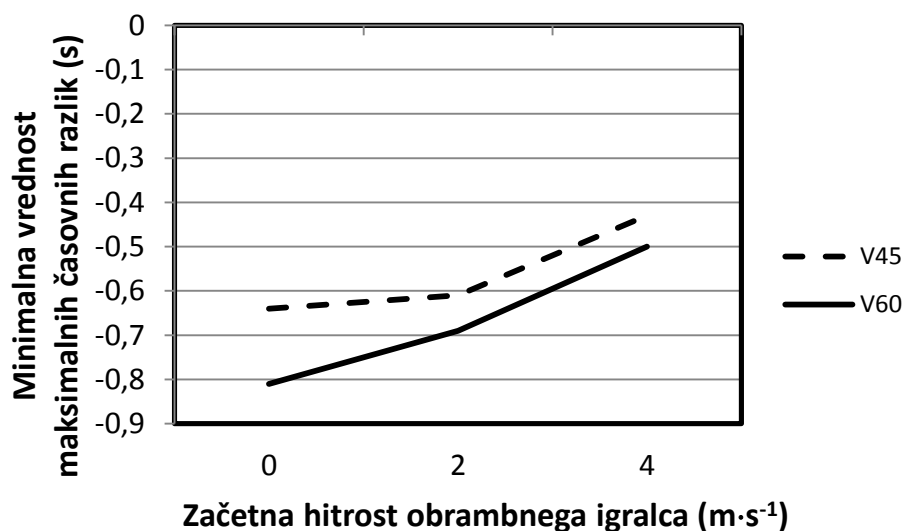
Če se je mirujočemu obrambnemu igralcu približeval napadalec v počasnem teku in sta bila obrnjena eden proti drugemu, je bila Minmaksčr manjša pri V60 kot pri V45, medtem ko je bila pri napadalcu, ki se je s počasnim tekom gibal proti obrambnemu

igralcu, ki se je gibal s počasnim ali srednje hitrim tekom, Minmaksčr manjša pri V45 kot pri V60 (Slika 26).

Slika 26: Minmaksčr, če napadalec izvede varanje z žogo iz počasnega teka, pri čemer obrambni igralec reagira z zamujanjem iz različnih začetnih hitrosti.



Slika 27: Minmaksčr, če napadalec izvede varanje z žogo iz srednje hitrega teka, pri čemer obrambni igralec reagira z zamujanjem iz različnih začetnih hitrosti.



Če se je mirujočemu obrambnemu igralcu ali obrambnemu igralcu, ki se je gibal s počasnim ali srednje hitrim tekom, približeval napadalec s srednje hitrim tekom in sta bila nogometaša obrnjena eden proti drugemu, je bila Minmaksčr manjša pri V60 kot pri V45 (Slika 27).

7 RAZPRAVA

Za oblikovanje kinematičnega modela nogometašev pri varanju z žogo je bilo potrebno najprej ugotoviti, kdaj se je zgodil prehod v pospeševanje naravnost oz. pospeševanje z zavijanjem in kdaj se je zaključilo spreminjanje smeri med pospeševanjem in zavijanjem. Sledilo je definiranje spremenljivk, ki so potrebne za opis gibanja obrambnega igralca in napadalca. Nato smo lahko simulirali igro ena na ena in pri tem ugotavljali, kako naj napadalec čim bolj učinkovito izvede varanje z žogo oz. kako naj obrambni igralec čim bolj učinkovito reagira.

7.1 ANALIZA POSPEŠEVANJA NARAVNOST IN POSPEŠEVANJA Z ZAVIJANJEM

7.1.1 ZAČETEK POSPEŠEVANJA NARAVNOST OZIROMA POSPEŠEVANJA Z ZAVIJANJEM

T_{2,4} se lahko zniža kot posledica pospeševanja naravnost, spremembe smeri ali kot posledica kombinacije pospeševanja in spremembe smeri. Pri pospeševanju naravnost iz počasnega teka smo opazili znižanje T_{2,4} v enem prehodnem koraku, medtem ko pri pospeševanju naravnost iz srednje hitrega teka znižanje T_{2,4} ni bilo tako izrazito. Vzrok za manj izrazito znižanje T_{2,4} je manjše pospeševanja, saj z večanjem začetne hitrosti velikost pospeševanja upada (Keller, 1973; Vaughan,

1983a, 1983b). Pri nižji začetni hitrosti in posledično večjem pospeševanju prihaja do večjega nagiba naprej in znižanja višine težišča telesa (Kugler & Janshen, 2009). Drugi vzrok za manj izrazito znižanje T2,4 telesa pri pospeševanju naravnost iz srednje hitrega teka je tudi odsotnost spremembe smeri. V vseh primerih, kjer pospeševanje spremlja sprememba smeri, je bilo znižanje T2,4 v prehodnih korakih izrazitejše, kar nam je omogočalo prepoznavanje koraka, v katerem se je zgodil prehod v pospeševanje z zavijanjem. Znano je, da je nadzor gibanja centralnega težišča telesa, ki se nahaja blizu T2,4, najpomembnejši pri izvedbi zavijanja (Patla, et al., 1999). Pri pospeševanju z večjimi spremembami smeri se je prehod v pospeševanje in zavijanje z znižanjem T2,4 pojavil prej kot pri pospeševanju z manjšimi spremembami smeri. Podobno so že prej ugotovili, da je za pospeševanje in zavijanje za večje kote potrebnega več časa, saj je pri večjem zaviranju potrebno uporabiti večje lateralne sile, čemur sledi večje pospeševanje (Young, et al., 1996; Young, et al., 2001).

7.1.2 KORAKI S PRISOTNOSTJO SPREMEMBE SMERI MED POSPEŠEVANJEM Z ZAVIJANJEM IZ RAZLIČNIH ZAČETNIH HITROSTI

Pospeševanje z zavijanjem iz mirovanja je trajalo do izvedbe drugega ali tretjega koraka po koraku v stran, odvisno od kota zavijanja. Pri večjih začetnih hitrostih se je sprememba smeri pojavila med izvedbo koraka pred korakom v stran, korakom v stran ali korakom, ki je sledil koraku v stran. Že pred tem je prihajalo do znižanja T2,4, kar pa lahko pojasnimo z nagibanjem trupa naprej. Pri večjih začetnih hitrostih je lahko zavijanje trajalo do izvedbe drugega, tretjega ali celo četrtega koraka po koraku v stran, odvisno od kota zavijanja. Nameravana sprememba smeri je pri pospeševanju z zavijanjem iz mirovanja pokazala velik učinek na velikost zavijanja med korakom v stran in sledečim korakom, pri začetkih iz mirovanja pa med prvima dvema korakoma, ki sledita koraku v stran. Poleg tega se je glavni del zavijanja pri nižji začetni hitrosti začel prej, kar je omogočilo hitrejši zaključek zavijanja.

Hipoteze 1, da pospeševanje in spremembo smeri lahko opredelimo s pomočjo opredelitve pospeškov in časov med izvedbo koraka v stran in dvema sledečima korakoma, na osnovi naših ugotovitev ne moremo popolnoma potrditi. Kateri koraki so bili pri pospeševanju in zavijanju potrebni, je bilo odvisno od začetne hitrosti in velikosti želenega kota spremembe smeri gibanja.

Pri pospeševanju z zavijanjem smo najprej preučevali korak, ki je bil izveden dva koraka pred korakom v stran, ko so se nogometaši gibali v počasnem ali srednje hitrem teku (Tabeli 2 & 3). Visoka korelacija med nameravano spremembo smeri in dejansko spremembo smeri za začetke iz srednje hitrega teka namiguje na priprave spreminjanja smeri pri velikih začetnih hitrostih, čeprav pri vseh začetnih hitrostih ni bilo zavijanja. Je pa pri večjih nameravanih spremembah smeri prišlo v tem koraku do izrazitejšega znižanja T2,4.

V koraku pred korakom v stran so rezultati pokazali relativno majhno zavijanje, ko so nogometaši pospeševali z zavijanjem za nameravane kote od 90° do 150° iz počasnega teka in z zavijanjem za nameravane kote od 30° do 120° iz srednje hitrega teka z največjim zavijanjem za nameravan kot 90° (Tabeli 2 & 3). To ustreza prejšnjim raziskavam, ki pravijo, da športniki pred korakom v stran tipično prikažejo lateralno gibanje, usmerjeno proti nameravani smeri teka, ko je gibanje načrtovano vnaprej (Andrews, et al., 1977; Hirasaki, Moore, Raphan, & Cohen, 1999). Glavno izjemo predstavljata primera 150° in 180°, kjer ni bilo ugotovljenega zavijanja v tem koraku. Pri zavijanju za npr. kot 180° je lahko v tem koraku že prisotno zaviranje in obračanje, vendar se spremembe smeri ne opazi, ker se T2,4 nogometaša še vedno pomika v smeri, ki je enaka začetni.

Primerna generacija hitrosti med gibanjem v stran je pomembna komponenta izvedbe spretnostnih nalog v športih, kjer prihaja do gibanja v stran (Hirasaki, et al., 1999). Analiza koraka v stran je pokazala, da je bila med pospeševanjem in zavijanjem iz vseh začetnih hitrosti prisotna sprememba smeri z izjemo pospeševanja in zavijanja za kot 180° iz počasnega teka (Preglednica 2). Pri izvedbi koraka v stran se je največja sprememba smeri pojavila med pospeševanjem in

zavijanjem iz mirovanja, ko je večja želena sprememba smeri prispevala k večji dejanski spremembi smeri (Preglednica 1). To kaže, da je korak v stran eden od dveh bistvenih korakov za pospeševanje in zavijanje iz mirovanja. Poleg tega je višja začetna hitrost med pospeševanjem z zavijanjem zmanjšala dejanski kot zavijanja, kadar je bila nameravana sprememba smeri $\geq 90^\circ$, toda pri nameravani spremembi za kot 60° je bilo opaziti enak učinek med korakom, ki je bil izveden po koraku v stran (Preglednica 5). Rezultati so povezani z ugotovitvami, da je za spremembo smeri pri višjih hitrostih potrebno najprej zavirati in znižati centralno težišče telesa (Sayers, 2000), kar pomeni, da se v začetni fazi sprememba smeri pri večjih začetnih hitrostih izrazi v manjši meri kot pri manjših začetnih hitrostih.

V koraku, ki sledi koraku v stran, je bila med pospeševanjem z zavijanjem vedno prisotna sprememba smeri. Kot zavijanja v tem koraku je v pozitivni povezanosti z nameravanim kotom zavijanja, ne glede na začetno hitrost gibanja (Preglednica 4). Glede na visoko povezanost med nameravanim kotom zavijanja in dejanskim kotom zavijanja je korak, ki sledi koraku v stran, eden od bistvenih korakov, ne glede na začetno hitrost gibanja.

Za začetke iz mirovanja se je drugi korak po koraku v stran izkazal kot korak, v katerem prihaja med pospeševanjem in zavijanjem do manjših popravkov med zavijanjem (Preglednica 1). V predhodni študiji sta bila za prehod iz počasnega teka in zavijanja za kot 60° v počasni tek naravnost potrebna korak v stran in korak, ki mu sledi (Imai, Moore, Raphan, & Cohen, 2001). Toda pri začetkih iz počasnega ali srednje hitrega teka je tudi drugi korak po koraku v stran eden od bistvenih, kar kaže velika korelacija med nameravano spremembo smeri in dejanskim kotom zavijanja med izvedbo drugega koraka po koraku v stran (Tabeli 2 & 3). Dejanska sprememba smeri v drugem koraku, ki sledi koraku v stran, je pod pozitivnim vplivom nameravane spremembe smeri, ko so nogometaši začeli iz počasnega ali srednje hitrega teka (Preglednica 4). Višja začetna hitrost je povečala dejansko spremembo smeri v drugem koraku po koraku v stran med pospeševanjem in zavijanjem za kote od 60° do 120° (Preglednica 5), kar se lahko razloži kot nadomestilo za manjši kot zavijanja med korakom v stran.

Popravki v spremembi kota se pojavijo tudi v tretjem, četrtem koraku po koraku v stran, odvisno od nameravane spremembe smeri. To je v skladu z ugotovitvami, da je včasih potrebnih več korakov za zaključek zavijanja med pospeševanjem in zavijanjem (Medendorp, et al., 2002). Med izvedbo tretjega koraka po koraku v stran so se manjši popravki pojavljali, ko so nogometaši pospeševali s spremembo smeri za kote od 90° do 150° iz mirovanja in za kote $\geq 60^\circ$ iz počasnega in srednje hitrega teka. Večja začetna hitrost je povečala dejansko spremembo smeri v tretjem koraku po koraku v stran za kote zavijanja $\leq 120^\circ$. Manjši popravki pri zavijanju med pospeševanjem so se pojavili v četrtem koraku po koraku v stran, kadar so nogometaši pospeševali in zavijali za kote od 90° do 120° iz počasnega in srednje hitrega teka. Kot kaže, je četrti korak po koraku v stran dokaj pozen za izvajanje zavijanja, zato bi bilo smiselno v prihodnosti preučiti, če je mogoče z vadbo doseči zaključek zavijanja v koraku pred tem.

Naša študija je omogočila lažje razumevanje začetka, razvoja in zaključka pospeševanja s spremembo smeri iz različnih začetnih hitrosti, kar je pomembno tudi v drugih ekipnih športih (Sheppard & Young, 2006).

7.2 KINEMATIČNI MODEL VARANJA Z ŽOGO

Na osnovi naših izsledkov o pospeševanju s spremembo smeri z žogo in brez žoge ter izsledkov o pospeševanju naravnost (Keller, 1973) smo opisali gibanje obrambnega igralca in napadalca. Simulacije izbranih trajektorij gibanja smo vstavili v kinematični model varanja z žogo. Na podlagi tega smo ugotavljali najboljše pogoje napadalca za uspešno izvedbo varanja z žogo in pri tem tudi najprimernejše reakcije obrambnega igralca.

7.2.1 Pogoji uspešnosti napadalca

Če je poskušal mirujoči napadalec z žogo priti mimo obrambnega igralca, je bila začetna razdalja, na kateri je bilo že smiselno izvajati varanje z žogo, najmanjša. S povečevanjem začetne hitrosti napadalca se je začetna razdalja, na kateri je že smiselno izvesti varanje z žogo, povečevala. Vzrok je predvsem v tem, da se v začetni fazi pri večjih začetnih hitrostih sprememba smeri izrazi v manjši meri kot pri manjših začetnih hitrostih (Sayers, 2000). Pri izvedbi varanja z žogo za manj oster kot se je napadalec lahko nekoliko bolj približal obrambnemu igralcu kot pri izvedbi varanja z žogo za ostrejši kot.

Spreminjanje začetne razdalje, na kateri je napadalec izvedel varanje z žogo, je vplivalo na njegove možnosti za uspeh. Za pogoje, kjer je v igri ena na ena obrambni igralec miroval, je značilno, da se za napadalca optimalna začetna razdalja pojavi na razdalji, ki je krajša od največje simulirane razdalje. Na tej optimalni začetni razdalji se največkrat spremeni tudi najugodnejša smer reakcije obrambnega igralca. Na manjših razdaljah je za obrambnega igralca npr. najprimernejše reagirati naravnost naprej in na večjih pod ustrezno velikim kotom. Je pa optimalna začetna razdalja za napadalca pri večjih začetnih hitrostih napadalca večja. Pred to optimalno začetno razdaljo in po njej ima napadalec slabše možnosti za uspeh. To pomeni, da lahko **Hipotezo 2**, da bo napadalec uspešen, če bo izvedel spremembo smeri na manjši razdalji, ko napadalec in obrambni igralec mirujeta, le delno potrdimo. Le delno lahko potrdimo tudi **Hipotezo 3**, da bo napadalec uspešen, če bo izvedel spremembo smeri na večji začetni razdalji, ko napadalec teče proti mirujočemu obrambnemu igralcu. Izjemo namreč predstavlja, če se napadalec s počasnim tekom približuje mirujočemu obrambnemu igralcu in izvede varanje z žogo za bolj oster kot. V takšnem primeru možnosti napadalca upadajo po optimalni razdalji, ki se nahaja med najmanjšo smiselno in največjo simulirano razdaljo.

Če obrambni igralec na začetku ni miroval, je bilo za napadalca najbolje, da je začel z varanjem žogo na čim večji začetni razdalji. Največkrat je bila to kar največja začetna simulacijska razdalja 3.0 m. To pomeni, da bi bila lahko v nekaterih primerih

večja začetna razdalja za napadalca še ugodnejša, vendar z vidika obravnavane situacije ne več smiselna. Napadalec bi v igri npr. pri večjih začetnih razdaljah trčil že v drugega nogometaša. Tako lahko potrdimo **Hipotezo 4**, da bo napadalec uspešen, če bo izvedel spremembo smeri na večji začetni razdalji, ko se napadalec in obrambni igralec eden proti drugemu gibljeta s počasnim ali srednje hitrim tekom.

Pri primerjavi različnega napadalčevega varanja z žogo smo ugotavljali še vpliv hitrosti odločanja obrambnega igralca. Zelo dobri športniki so boljši pri odločanju v igralnih situacijah (Farrow, Young, & Bruce, 2005; Sheppard, Young, Doyle, Sheppard, & Newton, 2006), tako da se lahko na podlagi gibalnih znakov nasprotnika za reakcijo odločijo že prej in so zato tudi bolj učinkoviti (Besier, Lloyd, & Ackland, 2003). To tudi pomeni, da je mogoče s treningom izboljšati reakcijo obrambnega igralca na varanje z žogo predvsem v smislu prebiranja napadalca, kje in kako vodi žogo, koliko spusti oz. nagne težišče.

V nekaterih primerih lahko potrdimo **Hipotezo 5**, ki pravi, da obstajajo pri igri ene na ena situacije, ko obrambni igralec napadalca ne more prestreči, četudi obrambni igralec predvidi smer varanja z žogo že v naprej in ne zamuja z obrambno akcijo. Za napadalca se je tako izkazalo kot zelo ugodno, če je obrambni igralec na začetku miroval, še posebej, če se je napadalec že gibal z določeno začetno hitrostjo. Pri začetkih iz mirovanja je za prvi korak, ko prihaja do izrazitega zniževanja T2,4, potrebnega precej več časa kot pri začetkih iz teka. To pomeni, da je lahko napadalec situacije, kjer je obrambni igralec miroval, izkoristil v svoj prid. Če pa je mirujoči obrambni igralec znal zelo dobro prebrati namero napadalca pri varanju z žogo, je bil napadalec neuspešen le v primeru, če je napadalec izvedel varanje z žogo iz mirovanja pod manj ostrim kotom.

Če je obrambni igralec predvidel namero napadalca že prej in če se je obrambni igralec na začetku že gibal z različno hitrim tekom, je bil napadalec lahko uspešen le na večjih začetnih razdaljah. Na manjših razdaljah je lahko obrambni igralec reagiral tudi bolj direktno proti napadalcu, medtem ko je bil na večjih začetnih razdaljah za obrambnega igralca ugodnejši ustrezno večji kot, za katerega je obrambni igralec

spremenil smer med pospeševanjem. Prav zaradi manjše učinkovitosti teka pri večjih spremembah smeri (Buchheit, et al., 2010; Buchheit, et al., 2012; Young, et al., 1996) obrambnega igralca napadalec pridobi večje možnosti za uspeh na večjih začetnih razdaljah. Če obrambni igralec sploh ne predvidi napadalčevih namer in reagira nanj z zamujanjem, ima napadalec veliko možnosti za uspeh. Pri tem mora napadalec upoštevati, da začne z varanjem z žogo na razdaljah, ki so nekoliko večje od najmanjših smiselnih. Seveda se je potrebno zavedati, da tudi čas zamujanja variira v odvisnosti od različnih faktorjev, kot so leta, spol, utrujenost, fizična pripravljenost (Morehouse & Miller, 1976; Spirduso, 1975), kar seveda dodatno vpliva na možnosti za uspeh v igri ena na ena.

7.2.2 Najprimernejši koti spremembe smeri obrambnega igralca

Predvsem na manjših začetnih razdaljah je bilo za obrambnega igralca primernih več učinkovitih sprememb smeri. To pomeni, da so bile razlike med različnimi koti, za katere je obrambni igralec spremenil smer, lahko zelo majhne ali jih ni bilo. Za obrambnega igralca je bila pri izbiri spremembe smeri pomembna njegova začetna hitrost in začetna razdalja.

Če je obrambni igralec na začetku miroval, je bilo na krajših razdaljah najprimerneje pospeševati naravnost proti napadalcu. Vzrok je v večji učinkovitosti teka pri manjših spremembah smeri (Buchheit, et al., 2010; Buchheit, et al., 2012; Young, et al., 1996). S povečevanjem začetne razdalje reakcije obrambnega igralca naravnost proti napadalcu niso bile več ustrezne, saj se je napadalec v trenutku, ko je obrambni igralec prišel v točko srečanja, že nahajal naprej od nje. Za obrambnega igralca je tako postalo najprimerneje, če je reagiral za kote od -90° do -120° . Z večanjem začetne razdalje se je tako za obrambnega igralca, ki je na začetku miroval, povečeval tudi najugodnejši kot zavijanja med pospeševanjem. Na osnovi tega lahko delno potrdimo **Hipotezo 6**.

Kadar obrambni igralec pospešuje in spreminja smer iz počasnega ali srednje hitrega teka, hipoteze 6 ne moremo potrditi, saj na manjših začetnih razdaljah izbira kota spremembe smeri obrambnega igralca ni pomembna za njegov uspeh. Na večjih začetnih razdaljah na izbiro ustreznega kota spremembe smeri obrambnega igralca bolj vpliva začetna hitrost obrambnega igralca kot sama začetna razdalja.

Pri obrambnem igralcu, ki se je gibal s počasnim tekom, se je tako na manjših začetnih razdaljah, ki so bile z vidika napadalca nekoliko večje od najmanjših smiselnih, izkazalo, da pravzaprav ni pomembno, v katero smer bo obrambni igralec pospeševal in bo še vedno enako uspešen oz. neuspešen. Vzrok, zakaj na manjših začetnih razdaljah nismo ugotovili razlik med različnimi spremembami smeri obrambnega igralca, je med drugim tudi ta, da obrambni igralec v simulacijskem modelu pred začetkom spreminjanja smeri še nekaj časa ohranja začetno hitrost in smer. S povečevanjem začetne razdalje je postajala izbira spremembe smeri vse pomembnejša. Pri večjih začetnih razdaljah je bilo tako bolje, če je obrambni igralec reagiral za kote od -45° do -90° .

Ko se je obrambni igralec na začetku gibal s srednje hitrim tekom, je bilo na manjših razdaljah prav tako nepomembno, v katero smer bo pospeševal. Vzrok, zakaj na manjših začetnih razdaljah nismo ugotovili razlik med različnimi spremembami smeri obrambnega igralca, je med drugim tudi ta, da obrambni igralec v simulacijskem modelu pred začetkom spreminjanja smeri še nekaj časa ohranja začetno hitrost in smer. S povečevanjem začetne razdalje je postajala izbira kota spremembe smeri med pospeševanjem vse pomembnejša. Za obrambnega igralca je bilo na večjih začetnih razdaljah najustreznejše, če se je usmeril proti napadalcu pod čim manjšim kotom (-30°). Če se obrambni igralec usmeri tako direktno proti napadalcu, mora nujno uspešno izvesti želeno akcijo. V primeru neuspeha zaradi hitrega gibanja proti napadalcu popolnoma izpade iz igralne akcije.

7.2.3 Primerjava med uspešnostjo izvedbe V45 in V60

Pri simulaciji igre ena na ena smo ugotovili, da **Hipoteze 7**, da je varanje z žogo pod manj ostrim kotom učinkovitejše od varanja z žogo pod bolj ostrim kotom, ne moremo popolnoma potrditi. Predvsem iz mirovanja je bilo za napadalca bolje, če je izvedel varanje z žogo pod ostrejšim kotom, kar pomeni, da v takem primeru Hipoteza 7 ne drži. Hipoteza 7 drži predvsem, če se je napadalec na začetku gibal s srednje hitrim tekom. V primeru, da se je napadalec na začetku gibal s počasnim tekom, izbira vrste varanja z žogo ni kazala velikih razlik pri uspešnosti napadalca.

7.3 OMEJITVE NALOGE

Omejitve naloge izhajajo iz postopkov merjenja z GNSS sistemom, saj raziskovalne antene nismo mogli postaviti natančno v točko težišča telesa, kar bi bilo s stališča mehanike bolje, kot da merimo točko na torakalnem delu hrbtenice T2-T4. Kljub temu je merjena točka razmeroma blizu točke težišča telesa, posebej v primerjavi z dimenzijami pospeševanja in zavijanja, ki smo ga obravnavali. Uporabljeni sistem meri s frekvenco zajemanja podatkov 20 Hz, kar bi bilo lahko prenizko za opazovanje gibanja posameznih udov pri eksplozivnih gibih. Za potrebe te naloge pa sta tako frekvenca kot natančnost zajemanja zadoščala za uresničitev ciljev študije.

Na pridobljene rezultate lahko vpliva tudi kakovost nogometašev. Različne kakovosti nogometašev pri obravnavi modela igre ena na ena nismo upoštevali, saj je šlo v obrambi in v napadu za iste nogometaše. Nogometaši se sicer nekoliko razlikujejo tudi glede na širino trupa (Sporiš, et al., 2007), kar bi tudi lahko vplivalo na rezultate simulacijskega modela igre ena na ena.

V meritve bi lahko vključili tudi večje število nogometašev, kar bi nam omogočilo natančnejše izračune, vendar bi prišli do enakih zaključkov. Glavni del naloge je namreč predstavljala simulacija napadalca in obrambnega igralca pri varanju z žogo in ugotavljanje pogojev za njuno uspešnost. Izbrani merjenci so nam omogočili dovolj realno opredelitev gibanja nogometašev na nogometnem igrišču.

Obrambni igralec lahko v igri ena na ena prestreže napadalca ali žogo. Cilj obrambnega igralca je vsekakor odvzeti ali izbiti žogo. Vendar smo v raziskavi predvidevali, da je v našem primeru napadalec pri vodenju žoge uspešen, kadar obrambni igralec ne more prestreči napadalca. To v praksi pomeni, da lahko obrambni igralec nad napadalcem stori prekršek. Torej je sposobnost, da obrambni igralec dejansko vzame žogo napadalcu, nekaj, česar kinematični model ne vključuje.

Če bi želeli ugotavljati sposobnost odvzemanje žoge, bi bilo potrebno upoštevati ugotovitve, da pri večji spremembi hitrosti športnika prihaja do večjega nagiba trupa naprej (Kugler, Janshen, 2009) in da pri večji spremembi smeri prihaja do večjega nagiba trupa v stran (Sakurai et al., 2011). To pomeni, da se zaradi spremembe hitrosti in/ali smeri gibanja spremeni položaj nog glede točko merjenja T2,4. Razliko med položajem nog in točko merjenja T2,4 bi bilo pri ugotavljanju odvzemanja ali izbijanja žoge smiselno upoštevati predvsem na majhnih začetnih razdaljah, ko so bile spremembe hitrosti in/ali smeri gibanja v trenutku srečanja nogometašev največje.

8 SKLEP

Za zaključek lahko rečemo, da so se spremembe smeri med pospeševanjem in zavijanjem pojavile že dva koraka pred korakom v stran in do štiri korake po izvedbi koraka v stran.

Pospeševanje s spremembo smeri je bilo sicer pogosto izvedeno v dveh bistvenih korakih, pri začetkih iz mirovanja v koraku v stran in koraku, ki sledi koraku v stran, pri začetkih iz počasnega in hitrega teka v prvih dveh korakih, ki sledita koraku v stran. V teh bistvenih korakih je bila velikost spremembe smeri odvisna od namere nogometaša pospeševati v določeno smer. Učinek izvedbe bistvenih korakov je najbrž ena od ključnih trenutkov v igri ena na ena. Pri začetkih iz počasnega teka ali srednje hitrega teka sta se pred bistvenima korakoma pojavila še do dva pripravljalna

koraka in več korektivnih korakov, odvisno od zelenega kota zavijanja. Ugotovitve o pospeševanju in spremembi smeri pod različnimi koti iz različnih začetnih hitrosti z žogo in brez žoge so nam omogočile modeliranje gibanja nogometaša.

Ugotovitve pospeševanja in zavijanja brez žoge in pospeševanja in zavijanja z žogo smo tako uporabili za simulacijo gibanja obrambnega igralca oz. napadalca. V situacijah, v katerih je napadalec iz mirovanja izvedel varanje z žogo proti mirujočemu obrambnemu igralcu, so se možnosti za uspeh napadalca pri prehodu mimo obrambnega povečevale le do določene razdalje. S povečevanjem začetne razdalje so se možnosti za uspeh napadalca zmanjševale. Če obrambni igralec na začetku ni miroval, so možnosti za uspeh napadalca naraščale z večanjem začetne razdalje.

V igri ena na ena obstajajo situacije, ko obrambni igralec ne more prestreči napadalca. Pri tem gre predvsem za situacije, ko se napadalec približuje mirujočemu obrambnemu igralcu, razen če napadalec na začetku miruje in nato pospešuje s spremembo smeri za manj oster kot. Kadar se je obrambni igralec približeval s počasnim ali srednje hitrim tekom, se je za napadalca kot najboljše izkazalo varanje z žogo na večjih začetnih razdaljah.

Z večanjem začetne razdalje se je za obrambnega igralca, ki je na začetku miroval, povečeval tudi najugodnejši kot zavijanja med pospeševanjem. Kadar obrambni igralec pospešuje in spreminja smer iz počasnega ali srednje hitrega na manjših začetnih razdaljah, izbira kota spremembe smeri obrambnega igralca ni pomembna za njegov uspeh/neuspeh. Na večjih začetnih razdaljah pa je izbira kota spremembe smeri bolj pod vplivom začetne hitrosti obrambnega igralca kot povečevanja začetne razdalje. Z večanjem začetne hitrosti obrambnega igralca se ustrezen kot spremembe smeri obrambnega igralca zmanjšuje.

Pri simulaciji igre ena na ena smo ugotovili, da je bilo za napadalca najbolje, da je iz mirovanja izvedel varanje z žogo pod ostrejšim kotom. Pri začetkih iz srednje hitrega

teka je bilo ugodneje, če je izvedel varanje z žogo pod manj ostrim kotom. Če se je na začetku gibal s počasnim tekom, ni bilo pomembno, katero vrsto obravnavanega varanja z žogo je napadalec izbral.

V simulacijski model igre ena na ena bi bilo z vidika začetnega gibanja v nadaljnjih raziskavah pri obrambnih igralcih smiselno dodati še tek vzvratno. Poleg tega bi se bilo v prihodnosti smiselno osredotočiti na podrobnejšo obravnavo še drugih vrst varanja z žogo.

Sicer je simulacijski model igre ena na ena pripravljen tako, da lahko v bodoče opravimo tudi simulacije, kjer spreminjamo posamezne parametre in ugotavljamo, kakšni bi nogometaši morali biti, da bi bili čim uspešnejši. Po drugi strani bi lahko izbrali tudi drugačen vzorec merjencev in pogledali, kako se obnašajo bodisi boljši bodisi slabši, starejši, dekleta ipd.

V simulacijski model lahko vnesemo tudi parametre meritev posameznih igralcev, ki nam lahko tako služi kot orodje, s katerim lahko ugotovimo, kakšne subjektivne sposobnosti imajo nogometaši, tako napadalci kot obrambni igralci. S pomočjo simulacijskega modela bi lahko preverili, kateri nogometaš je najboljši pri izvedbi spremembe smeri ob prisotnosti žoge. Takšnega nogometaša bi postavili na napadalno mesto in njegova naloga bi bila priti v situacijo, ki bi omogočila čim bolj zanesljivo izvedbo varanja z žogo z vidika prehoda mimo obrambnega igralca. Naloga soigralcev bi bila, da bi tako izbranemu nogometašu v pravem trenutku igre podali žogo.

V nadaljnjih raziskavah za obravnavo modela igre ene na ena bi bilo zanimivo ugotoviti tudi vpliv utrujenosti na pospeševanje in spremembo smeri brez žoge in z žogo, čemur smo se z načinom izvajanja meritev izognili. S tem bi lahko prispevali k vedenju o minimalni telesni pripravi in odločitvah za menjavo med nogometnimi tekmami.

8.1 IZVIRNI PRISPEVKI ZA ZNANOST IN STROKO

Izvirni prispevki k znanosti so:

1. Opredelili smo prehod v pospeševanje naravnost in pospeševanje z zavijanjem iz različnih začetnih hitrosti pri nameravanih spremembah smeri za kote 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° . Opredelili smo tudi zaključek pospeševanja z zavijanjem.
2. Postavili smo model varanja z žogo mimo obrambnega igralca, v katerega lahko vstavljamo poljubne parametre in simuliramo poljubne pogoje. To lahko pomaga trenerjem pri ugotavljanju individualnih sposobnosti in pomanjkljivosti napadalca oz. obrambnega igralca v igri ena na ena, ki je eden od ključnih delov nogometne igre.
3. Za meritve gibanja nogometašev smo uporabili GNSS napravo, ki omogoča merjenje gibanja nogometašev v realnem času. Prednost našega načina merjenja je predvsem v natančnosti merjenja pod 10 mm horizontalno. Tako veliko natančnost je bilo mogoče doseči z dodatnim sprejemnikom satelitskih signalov, ki je bi postavljen na znano mesto in ugotavljal napako merjenja. Napaka merjenja se je lahko nato upoštevala pri sprejemniku, ki je sočasno spremljal gibanje nogometašev.

Izvirni prispevki za stroko so:

1. Ugotovili smo, da bi se bilo pri treningu pospeševanja in spremembe smeri potrebno posvetiti predvsem izvedbi koraka v stran in sledečega koraka, ko gre za pospeševanje z zavijanjem iz mirovanja. Če gre za pospeševanje in zavijanje iz teka, je potrebno posebno pozornost posvetiti korakoma, ki sledita koraku v stran.
2. Z vstavljanjem parametrov pospeševanja naravnost in pospeševanja z zavijanjem brez žoge in pospeševanja z zavijanjem z žogo smo simulirali izbrane situacije pri varanju z žogo mimo obrambnega igralca. Ugotavljali smo

uspešnost izvedbe pri določenih začetnih razdaljah, začetnih hitrostih in izvedenih spremembah smeri napadalca oz. obrambnega igralca. Ugotavljali smo še, kako je z uspešnostjo, če obrambni igralec zamuja z reakcijo na napadalca in kako je, če ne zamuja. Zavedamo se, da nogometaši varanje z žogo izvajajo intuitivno in da bi na podlagi ustreznih navodil, ki izhajajo iz naših ugotovitev, lahko tako napadalec kot obrambni igralec ustrezneje ravnala v igralni situaciji ena na ena.

9 LITERATURA

- Abernethy, D., & Russel, D. (1987). Expert-Novice Differences in an Applied Selective Attention Task. *Journal of Sport Psychology*, 9(4), 326-345.
- Allen, J. D., Butterly, R., Welsch, M. A., & Wood, R. (1998). The physical and physiological value of a 5-a-side soccer training to 11-a-side match play. *Journal of Human Movement Studies*, 34(1), 1-11.
- Andrews, J. R., McLeod, W. D., Ward, T., & Howard, K. (1977). The cutting mechanism. *The American Journal of Sports Medicine*, 5(3), 111-121.
- Astrand, P. O., & Rodahl, K. (1986). *Textbook of Work Physiology*: McGraw-Hill Book Company.
- Aughey, R. J. (2010). Australian football player work rate: evidence of fatigue and pacing? *Int J Sports Physiol Perform*, 5(3), 394-405.
- Baker, D., & Nance, S. (1999). The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(3), 230-235.
- Bangsbo, J. (1994). Energy demands in competitive soccer. *Journal of Sports Sciences*, 12(Special Issue), S5-s12.
- Bangsbo, J., Norregaard, L., & Thorso, F. (1994). Activity profile of competition soccer. *Performance Conditioning Soccer*, 1(3), 110-116.
- Besier, T. F., Lloyd, D. G., & Ackland, T. R. (2003). Muscle activation strategies at the knee during running and cutting maneuvers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(1), 119-127.

- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6(1), 63-70.
- Botwinick, J., & Thompson, L. W. (1966). Premotor and motor components of reaction time. *Journal Of Experimental Psychology*, 71(1), 9-15.
- Brewer, C., Dawson, B., Heasman, J., Stewart, G., & Cormack, S. (2010). Movement pattern comparisons in elite (AFL) and sub-elite (WAFL) Australian football games using GPS. *Journal Of Science And Medicine In Sport / Sports Medicine Australia*, 13(6), 618-623. doi: 10.1016/j.jsams.2010.01.005
- Buchheit, M., Bishop, D., Haydar, B., Nakamura, F. Y., & Ahmaidi, S. (2010). Physiological Responses to Shuttle Repeated-Sprint Running. *International Journal of Sports Medicine*, 31(6), 402-409.
- Buchheit, M., Haydar, B., & Ahmaidi, S. (2012). Repeated sprints with directional changes: do angles matter? *Journal of Sports Sciences*, 30(6), 555-562.
- Buttifant, D., Graham, K., & Cross, K. (2002). *Agility and speed in soccer players are two different performance parameters*. Paper presented at the World Congress of Science and Football 4th, Sydney, Australia.
- Carling, C. (2010). Analysis of physical activity profiles when running with the ball in a professional soccer team. *J Sports Sci*, 28(3), 319-326.
- Carling, C., Williams, A. M., & Reilly, T. (2005). *Handbook of soccer match analysis*. New York :: Routledge.
- Castellano, J., Casamichana, D., Calleja-González, J., San Román, J., & Ostojic, S. M. (2011). Reliability and accuracy of 10 Hz GPS devices for short-distance exercise. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10(1), 233-234.
- Chang, Y. H., & Kram, R. (2007). Limitations to maximum running speed on flat curves. *The Journal of Experimental Biology*, 210, 971-982.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 22(1), 45-51.
- Coutts, A. J., Quinn, J., Hocking, J., Castagna, C., & Rampinini, E. (2010). Match running performance in elite Australian Rules Football. *J Sci Med Sport*, 13(5), 543-548.

- Cowell, N. D. (1999). HISTORY OF FOOD MICROBIOLOGY. In R. K. Robinson (Ed.), *Encyclopedia of Food Microbiology* (pp. 1066-1071). Oxford: Elsevier.
- Deutsch, M. U., Kearney, G. A., & Rehrer, N. J. (2002). A comparison of competition work rates in elite club and 'Super 12' rugby. In W. e. In Spinks (Ed.), *Science and football IV* (pp. p.160-166). United Kingdom.
- Docherty, D., Wenger, H. A., & Neary, P. (1988). Time motion analysis related to the physiological demands of rugby. *Journal of Human Movement Studies*, 14(6), 269-277.
- Douge, B. (1988). Football: the common threads between the games In, Reilly, T. et al. (eds.), *Science and football: proceedings of the First World Congress of Science and Football, Liverpool, 12-17th April 1987, p. 3-19*. United States.
- Duffield, R. O. B., Coutts, A. J., & Quinn, J. (2009). CORE TEMPERATURE RESPONSES AND MATCH RUNNING PERFORMANCE DURING INTERMITTENT-SPRINT EXERCISE COMPETITION IN WARM CONDITIONS. [Article]. *Journal of Strength & Conditioning Research (Lippincott Williams & Wilkins)*, 23(4), 1238-1244.
- Dufour, W. (1993). Computer-assisted scouting in soccer In, Reilly, T. (ed.) et al., *Science and Football II ... London, E & FN Spon, 1993, p. 160-166.*;
- Dwyer, D. B., & Gabbett, T. J. (2012). Global positioning system data analysis: velocity ranges and a new definition of sprinting for field sport athletes. *Journal Of Strength And Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 26(3), 818-824. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182276555
- Edgecomb, S. J., & Norton, K. I. (2006). Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(1-2), 25-32.
- Erdmann, W. S. (1993). Quantification of games - preliminary kinematic investigations in soccer In, Reilly, T. (ed.) et al., *Science and Football II London, E & FN Spon, 1993, p. 174-179*.
- Farrow, D., Young, W., & Bruce, L. (2005). The development of a test of reactive agility for netball: a new methodology. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 8(1), 52-60.
- Gambetta, V. (1996). In a blur : how to develop sport-specific speed. *Sports Coach*, 19(3), 22-24.
- Grehaigne, J. F., Bouthier, D., & David, B. (1997). Dynamic-system analysis of opponent relationships in collective actions in soccer. [Article]. *Journal of Sports Sciences*, 15(2), 137-149. doi: 10.1080/026404197367416

- Hay, J. G. (1985). *The biomechanics of sport techniques*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Hirasaki, E., Moore, S. T., Raphan, T., & Cohen, B. (1999). Effects of walking velocity on vertical head and body movements during locomotion. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, 127(2), 117-130.
- Iaia, F. M., Rampinini, E., & Bangsbo, J. (2009). High-Intensity Training in Football. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 4(3), 291-306.
- Imai, T., Moore, S. T., Raphan, T., & Cohen, B. (2001). Interaction of the body, head, and eyes during walking and turning. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, 136(1), 1-18.
- Inklaar, H. (1994). Soccer injuries: I: incidence and severity. *Sports Medicine*, 18(1), 55-73.
- Keller, J. B. (1973). Physic of sprinting. *Physics Today*, 26(9), 42-47.
- Kraan, G. A., Van Veen, J., Snijders, C. J., & Storm, J. (2001). Starting from standing; why step backwards? *Journal of Biomechanics*, 34, 211-215.
- Kugler, F., & Janshen, L. (2009). Body position determines propulsive forces in accelerated running. *Journal of Biomechanics*.
- Magill, R. A., & Lee, T. D. (1998). *Motor learning: concepts and applications - laboratory manual*. 2nd ed.
- Mayhew, S. R., & Wenger, H. A. (1985). Time-motion analysis of professional soccer. *Journal of Human Movement Studies*, 11(1), 49-52.
- Meckel, Y., Geva, A., & Eliakim, A. (2012). The Influence of Dribbling on Repeated Sprints in Young Soccer Players. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 7(3), 555-564.
- Medendorp, W. P., Van Gisbergen, J. A. M., & Gielen, C. C. A. M. (2002). Human gaze stabilization during active head translations. *Journal Of Neurophysiology*, 87(1), 295-304.
- Mohr, M., Krustup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519.
- Morehouse, L. E., & Miller, A. T. (1976). *Physiology of exercise*. 7th ed.
- Nardello, F. (2010). *HUMAN LOCOMOTION: CENTRE OF MASS AND SYMMETRY*. PhD THESIS, UNIVERSITY OF VERONA, Verona.

- Nicholas, C. W. (1997). Anthropometric and physiological characteristics of rugby union football players. / Caractéristiques anthropométriques et physiologiques des joueurs de rugby à 15. *Sports Medicine*, 23(6), 375-396.
- Ohtsuki, T., Yanase, M., & Aoki, K. (1987). Quick change of the forward running direction in response to unexpected changes of situation with references to ball games. In *Biomechanics X-A, X-B, Champaign, Ill., Human Kinetics Publishers, c1987, p.629-635*. United States.
- Olsen, E. (1988). An analysis of goal scoring strategies in the world championship in Mexico, 1986. In *Reilly, et al. (eds.), Science and football: proceedings of the First World Congress of Science and Football, Liverpool, 12-17th April 1987, p.373-376.*;
- Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R., & Di Prampero, P. E. (2010). Energy Cost and Metabolic Power in Elite Soccer: A New Match Analysis Approach. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(1), 170-178.
- Patla, A. E., Adkin, A., & Ballard, T. (1999). Online steering: coordination and control of body center of mass, head and body reorientation. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, 129(4), 629-634.
- Penfold, L., & Jenkins, D. G. (1996). *Training for Speed and Endurance*. Sydney: Eds: Reaburn, P. R. J. and Jenkins, D. G. Allen & Unwin.
- Perrin, O., Terrier, P., Ladetto, Q., Merminod, B., & Schutz, Y. (2000). Improvement of walking speed prediction by accelerometry and altimetry, validated by satellite positioning. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 38(2), 164-168.
- Rand, M. K., & Ohtsuki, T. (2000). EMG analysis of lower limb muscles in humans during quick change in running directions. *Gait & Posture*, 12(2), 169-183. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362\(00\)00073-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0966-6362(00)00073-4)
- Rauch, H. E., Tung, F., & Striebel, C. T. (1965). Maximum likelihood estimates of linear dynamic systems. *AIAA Journal*, 3, 1445-1450.
- Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 15(3), 257-263.
- Reilly, T. (2005). An ergonomics model of the soccer training process. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 561-572.
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 669-683.

- Reilly, T., & Bowen, T. (1984). EXERTIONAL COSTS OF CHANGES IN DIRECTIONAL MODES OF RUNNING. *Perceptual And Motor Skills*, 58(1), 149-150. doi: 10.2466/pms.1984.58.1.149
- Reilly, T., & Holmes, M. (1983). A preliminary analysis of selected soccer skills. *Physical Education Review*, 6(1), 64-71.
- Reilly, T., & Thomas, V. (1976). Motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Journal of Human Movement Studies*, 2(2), 87-97.
- Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2000). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18, 695-702.
- Ricotti, L., Rigosa, J., Niosi, A., & Menciassi, A. (2013). Analysis of Balance, Rapidity, Force and Reaction Times of Soccer Players at Different Levels of Competition. [Article]. *PLoS ONE*, 8(10), 1-1. doi: 10.1371/journal.pone.0077264
- Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J. E. L., & Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 40(2), 162-169.
- Robinson, G., O'Donoghue, P., & Wooster, B. (2011). Path changes in the movement of English Premier League soccer players. *The journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(2), 220-226.
- Roesch, D., Hodgson, R., Peterson, L., Graf-Baumann, T., Junge, A., Chomiak, J., & Dvorak, J. (2000). Assessment and evaluation of football performance. *American Journal of Sports Medicine*, 28(5 Suppl), S29-s39.
- Rovan, K. (2008). Aktivnosti z zogo nogometasev v napadu na razlicnih igralnih mestih = Football players' ball activities in different playing positions in offence. *Sport*, 75-79.
- Rovan, K., Kugovnik, O., Supej, M., & Verdenik, Z. (2009). Nekatere značilnosti najpogostejših načinov varanja z zogo pri nogometu = Some characteristics of the most frequent ball fakes in football. *Sport*, 105-108.
- Rowlinson, M., & O'Donoghue, P. (2007). *Performance profiles of soccer players in the 2006 UEFA Champions League and the 2006 FIFA World Cup tournaments*. Paper presented at the Science and Football VI The Proceedings of the Sixth World Congress on Science and Football, Antalya, Turkey.
- Rupf, R., Thomas, S., & Wells, G. (2007). *Quantifying energy expenditure of dribbling a soccer ball in a field test*. In *VIth World Congress of Science and Football, Book of Abstracts*. Antalya, Turkey.

- Sasaki, S., Nagano, Y., Kaneko, S., Sakurai, T., & Fukubayashi, T. (2011). The relationship between performance and trunk movement during change of direction. *Journal of Sports and Medicine*, 10(1), 112-118.
- Sayers, M. (2000). Running techniques for field sport players. / Techniques de course pour les joueurs de jeux d'exterieur. *Sports Coach*, 23(1), 26-27.
- Schmidt, R. A. L. T. D. (1999). *Motor control and learning : a behavioral emphasis*. [S. l.]: Human Kinetics.
- Schutz, Y., & Chambaz, A. (1997). Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *European Journal Of Clinical Nutrition*, 51(5), 338-339.
- Schutz, Y., & Herren, R. (2000). Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(3), 642-646.
- Segers, V., Aerts, P., Lenoir, M., & De Clercq, D. (2008). External Forces During Actual Acceleration Across Transition Speed. *Journal of Applied Biomechanics*, 24(4), 340-350.
- Segers, V., Lenoir, M., Aerts, P., & De Clercq, D. (2007). Kinematics of the transition between walking and running when gradually changing speed. *Gait & Posture*, 26(3), 349-361.
- Senel, Ö., & Eroglu, H. (2006). Correlation between reaction time and speed in elite soccer players. *J Exerc Sci Fit*, 4(2).
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919-932.
- Sheppard, J. M., Young, W. B., Doyle, T. L. A., Sheppard, T. A., & Newton, R. U. (2006). An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(4), 342-349. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.019>
- Smith, M. D., & Chamberlin, C. J. (1992). Effect of adding cognitively demanding tasks on soccer skill performance. *Perceptual And Motor Skills*, 75(3 Pt 1), 955-961.
- Smith, N. A., Dyson, R. J., & Hale, T. (1997). Lower extremity muscular adaptations to curvilinear motion in soccer (Adaptations musculaires des membres inferieurs lors d'un deplacement selon une trajectoire courbe en football). *Journal of Human Movement Studies*, 33(4), 139-153.

- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Med*, 35(12), 1025-1044.
- Spencer, M., Lawrence, S., Rechichi, C., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2004). Time-motion analysis of elite field hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *Journal of Sports Sciences*, 22(9), 843-850.
- Spinks, C. D., Murphy, A. J., Spinks, W. L., & Lockie, R. G. (2007). The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *J Strength Cond Res*, 21(1), 77-85.
- Spiriduso, W. W. (1975). Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *Journal Of Gerontology*, 30(4), 435-440.
- Sporiš, G., Čanaki, M., & Barišič, V. (2007). MORPHOLOGICAL DIFFERENCES OF ELITE CROATIAN FEMALE SOCCER PLAYERS ACCORDING TO TEAM POSITION. / RAZLIKE U MORFOLOŠKIM KARAKTERISTIKAMA IZMEĐU VRHUNSKIH HRVATSKIH NOGOMETAŠICA S OBZIROM NA IGRAČKU POZICIJU. *Croatian Sports Medicine Journal / Hrvatski sportskomediciniski vjesnik*, 22(2), 91-96.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Med*, 35(6), 501-536.
- Stratford, M. (2006). Food and Beverage Spoilage Yeasts. In A. Querol & G. Fleet (Eds.), *Yeasts in Food and Beverages* (pp. 335-379): Springer Berlin Heidelberg.
- Supej, M. (2010). 3D measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK system. *Journal of Sports Sciences*, 28(7), 759-769.
- Supej, M. (2011). Biomehanika 1 učbenik za študente Fakultete za šport, from <http://www.fsp.uni-lj.si/COBISS/Monografije/SupejBiomehanika1.pdf>
- Supej, M., & Holmberg, H.-C. (2011). A New Time Measurement Method Using a High-End Global Navigation Satellite System to Analyze Alpine Skiing. *Research Quarterly For Exercise And Sport*, 82(3), 400-411. doi: 10.1080/02701367.2011.10599772
- Supej, M., Saetran, L., Oggiano, L., Ettema, G., Sarabon, N., Nemec, B., & Holmberg, H. C. (2013). Aerodynamic drag is not the major determinant of performance during giant slalom skiing at the elite level. *Scand J Med Sci Sports*, 23(1), 4.
- Terrier, P., Ladetto, Q., Merminod, B., & Schutz, Y. (2000). High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *Journal of Biomechanics*, 33(12), 1717-1722.

- Terrier, P., Ladetto, Q., Merminod, B., & Schutz, Y. (2001). Measurement of the mechanical power of walking by satellite positioning system (GPS). *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(11), 1912-1918.
- Townshend, A. D., Worringham, C. J., & Stewart, I. B. (2008). Assessment of Speed and Position during Human Locomotion Using Nondifferential GPS. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(1), 124-132.
- Tumilty, D. (1993). Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Med*, 16(2), 80-96.
- Van Gool, D., Van Gerven, D., & Boutmans, J. (1988). The physiological load imposed on soccer players during real match play. In A. L. T. Reilly, K. Davids and W. J. Murphy (Ed.), *Science and Football* (pp. 51-59). London.
- Vaughan, C. L. (1983a). Simulation of a sprinter. Part I. Development of a model. *International Journal of Bio-Medical Computing*, 14(1), 65-74.
- Vaughan, C. L. (1983b). Simulation of a sprinter. Part II. Implementation on a programmable calculator. *International Journal of Bio-Medical Computing*, 14(1), 75-83.
- Weiss, A. D. (1965). THE LOCUS OF REACTION TIME CHANGE WITH SET, MOTIVATION, AND AGE. *Journal Of Gerontology*, 20, 60-64.
- Williams, A. M., Davids, K., Burwitz, L., & Williams, J. G. (1994). Visual search strategies in experienced and inexperienced soccer players. *Research Quarterly For Exercise And Sport*, 65(2), 127-135.
- Williams, A. M., & Reilly, T. (2000). Talent identification and development in soccer. *J Sports Sci*, 18(9), 657-667.
- Wisbey, B., Montgomery, P. G., Pyne, D. B., & Rattray, B. (2010). Quantifying movement demands of AFL football using GPS tracking. *Journal of Science and Medicine in Sport, In Press, Corrected Proof*.
- Withers, R. T., Maricic, Z., Wasilewski, S., & Kelly, L. (1982). Match analyses of Australian professional soccer players. *Journal of Human Movement Studies*, 8(4), 159-176.
- Yeadon, M. R., Kato, T., & Kerwin, D. G. (1999). Measuring running speed using photocells. *Journal of Sports Sciences*, 17(3), 249-257.
- Young, W., Hawken, M., & McDonald, L. (1996). Relationship between speed, agility and strength qualities in Australian Rules football. *Strength & Conditioning Coach*, 4(4), 3-6.

- Young, W. B., James, R., & Montgomery, I. (2002). Is muscle power related to running speed with changes of direction? *The journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42, p.p. 282-288.
- Young, W. B., McDowell, M. H., & Scarlett, B. J. (2001). Specificity of Sprint and Agility Training Methods. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(3), 315-319.
- Yue, Z., Broich, H., & Mester, J. (2014). Statistical Analysis for the Soccer Matches of the First Bundesliga. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9(3), 553-560.
- Zebis, M. K., Bencke, J., Andersen, L. L., Dossing, S., Alkj, T., Magnusson, S. P., . . . Aagaard, P. (2008). The Effects of Neuromuscular Training on Knee Joint Motor Control During Sidecutting in Female Elite Soccer and Handball Players. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(4), 329-337.

10 OBJAVLJEN ČLANEK NA TEMO DOKTORSKE NALOGE

Članek je bil objavljen v *Kinesilogiji Slovenici*, 20, 1, 38–50 (2014), ISSN 1318-2269.

THE STEPS NEEDED TO PERFORM ACCELERATION AND TURNING AT DIFFERENT APPROACH SPEEDS

Abstract

The aims of the study were to examine: how many and which steps are needed to initiate and complete accelerations and turnings at different angles at different approach speeds; and how an intended turning angle and approach speed influence the magnitude of the actual turning angle in each step. Eight soccer players participated in the study. They performed acceleration and turnings: 1) from a standstill; 2) while already jogging; and 3) while already running on an outdoor soccer field. The speeds and angles were calculated from the data obtained from the high-end Global Navigation Satellite System. The high correlation between the intended turning angle and actual turning angle indicated the major turning steps during a turn. The intended turning angle revealed a large effect on the magnitude of the turning angle during the side-step ($r = 0.995$, $p < 0.01$) and the following step ($r = 0.950$, $p < 0.01$) for acceleration and turning from a standstill, and during the first two steps following the side-step for starts made while already jogging ($r = 0.919$, $p < 0.01$; $r = 0.952$, $p < 0.01$) and running ($r = 0.897$, $p < 0.01$; $r = 0.881$, $p < 0.01$). Further, a major part of the turning began earlier at a lower approach speed, which allowed the turning to be more quickly completed. In conclusion, the effect of acceleration with turning on the turning angle could already have been seen two steps before and up to two steps after the major turning steps during a turn.

Keywords: *angle, GNSS, GPS, kinematics, soccer*

KORAKI, POTREBNI ZA IZVEDBO POSPEŠEVANJA IN ZAVIJANJA IZ RAZLIČNIH ZAČETNIH HITROSTI

Povzetek

Cilji raziskave so bili raziskati: 1) koliko korakov je potrebnih za začetek in zaključek pospeševanja in zavijanja v različne smeri iz različnih začetnih hitrosti in 2) kako sprememba smeri za nameravani kot in začetna hitrost vplivata na velikost dejanske spremembe smeri v posameznem koraku. V raziskavi je sodelovalo osem nogometašev. Iz mirovanja, počasnega teka in srednje hitrega teka so pospeševali in zavijali na nogometnem igrišču z naravno travo. Hitrosti in koti so bili izračunani s pomočjo tehnično dovršenega globalnega navigacijskega satelitskega sistema. Velika povezanost med nameravano spremembo smeri gibanja in dejansko spremembo smeri gibanja je pokazala na najbolj pomembne korake med zavijanjem. Nameravana sprememba smeri gibanja je vplivala na velikost spremembe smeri med korakom v stran ($r = 0.995$, $p < 0.01$) in med sledečim korakom ($r = 0.950$, $p < 0.01$) pri pospeševanju in zavijanju iz mirovanja in med prvima dvema korakoma, ki sledita koraku v stran pri začetkih iz počasnega teka ($r = 0.919$, $p < 0.01$; $r = 0.952$, $p < 0.01$) in srednje hitrega teka ($r = 0.897$, $p < 0.01$; $r = 0.881$, $p < 0.01$). Poleg tega se je začel glavni del zavijanja prej pri manjših začetnih hitrostih, kar je prispevalo k hitrejšemu zaključku zavijanja. Glede na dobljene rezultate lahko zaključimo, da so se učinki pospeševanja in zavijanja pokazali v spremembi smeri gibanja dva koraka pred in dva koraka po najbolj pomembnih korakih.

Ključne besede: *GNSS, GPS, kinematika, kot, nogomet*

Introduction

Many sports such as different football codes require athletes to accelerate, decelerate and turn throughout the game (Docherty, Wenger, & Neary, 1988; Sheppard & Young, 2006). These bursts of maximal effort tend to be concentrated around crucial match actions such as making a break away from the opposition or during a tackle (Buchheit, Bishop, Haydar, Nakamura, & Ahmaidi, 2010; Medendorp, Van Gisbergen, & Gielen, 2002; Rienzi, Drust, Reilly, Carter, & Martin, 2000).

Acceleration is essential for a successful performance in soccer (Baker & Nance, 1999; Deutsch, Kearney, & Rehrer, 2002; Douge, 1988; Grasso, Glasauer, Takei, & Berthoz, 1996) and is potentially decisive in determining the outcome of a game (Cometti, Maffiuletti, Pousson, Chatard, & Maffulli, 2001; Rienzi et al., 2000; Sayers, 2000). In particular, quickness in the first few steps of a sprint is viewed as being vitally important during a game (Patla, Adkin, & Ballard, 1999). In addition, players rarely cover large enough distances when sprinting to reach top speed (Douge, 1988; Reilly, 1997; Reilly & Borrie, 1992). One reason for not being able to reach maximum speeds is turning, which has been proven to decrease the top speed of running (Chang & Kram, 2007).

Soccer players perform less than half of their purposeful movements in a forward direction; they perform different types of movement with a range of intensities and frequently turn during movement patterns (Bloomfield, Polman, & O'Donoghue, 2007; Docherty et al., 1988).

Players often initiate sprints, when already moving at moderate speeds (Young, Benton, Duthie, & Pryor, 2001). A gait transition will occur when accelerating from one running speed to another. Human gait transitions are mainly realised in a single transition step when running straight forward (Segers, Lenoir, Aerts, & De Clercq, 2007; Sheppard & Young, 2006). However, in ball games accelerations from one speed to another are often accompanied by turning. In such situations, gait transitions sometimes require several steps before completion (Ohtsuki, Yanase, & Aoki, 1987).

Previous studies focused on the sprint time needed to complete different running courses with a change in direction and revealed that the greater the angle of change in direction, the greater

the sprint time (Buchheit et al., 2010; Martin Buchheit, Haydar, & Ahmaidi, 2012; Young, Hawken, & McDonald, 1996) because during curve sprinting the inside leg generates smaller peak force compared to the outside leg (Chang & Kram, 2007). A study of changing direction at a constant speed of 3 m/s and a change in direction of 60° showed that at least one step is required to stabilise the body following a turn (Patla et al., 1999). To our knowledge, no study has investigated turning angles through steps made during acceleration with turning at different angles and at different approach running speeds and none has investigated the initiation and completion of a change in direction regarding the turning angle. The outcome is that we cannot fully understand or define the movement of soccer players or players in other sports, where acceleration and turning occurs.

Therefore, the aims of the study were to examine: 1) how many and which steps are needed to initiate and complete accelerations and turnings at different angles at different approach speeds; and 2) how the intended turning angle or approach speed influence the magnitude of the actual turning angle in each step on a natural playing field and using soccer studs.

Materials and Methods

Participants

Eight soccer players from the 2nd Slovenian soccer league voluntary agreed to participate in the study and provided their written informed consent. The participants were 20.5 ± 2.1 years old, their height 179 ± 5.8 cm and their weight 76.3 ± 4.8 kg. Measurements were approved by the regional Ethics Committee of the Faculty of Sports, University of Ljubljana in Slovenia and were managed in accordance with the Helsinki Declaration.

Experimental protocol

The measurements were performed on natural grass soccer field. Dressed in full soccer equipment, the participants accelerated straightforward and accelerated whilst turning at angles of 30°, 60° (Figure 1), 90°, 120°, 150° and 180° (Figure 2) according to the initial

direction of movement from a standstill, and at two different gradually faster and controlled approach speeds to a distance of 10 m. The starts from a standstill were performed from a defensive stance characterised by the feet being placed parallel to each other and the legs slightly flexed at the ankles, knees and hips. The weight of the body was centred between the left and right balls of the feet. The participants progressed by leaning their body down and placing the push-off leg to the opposite direction. From flying starts the side step cut, in which

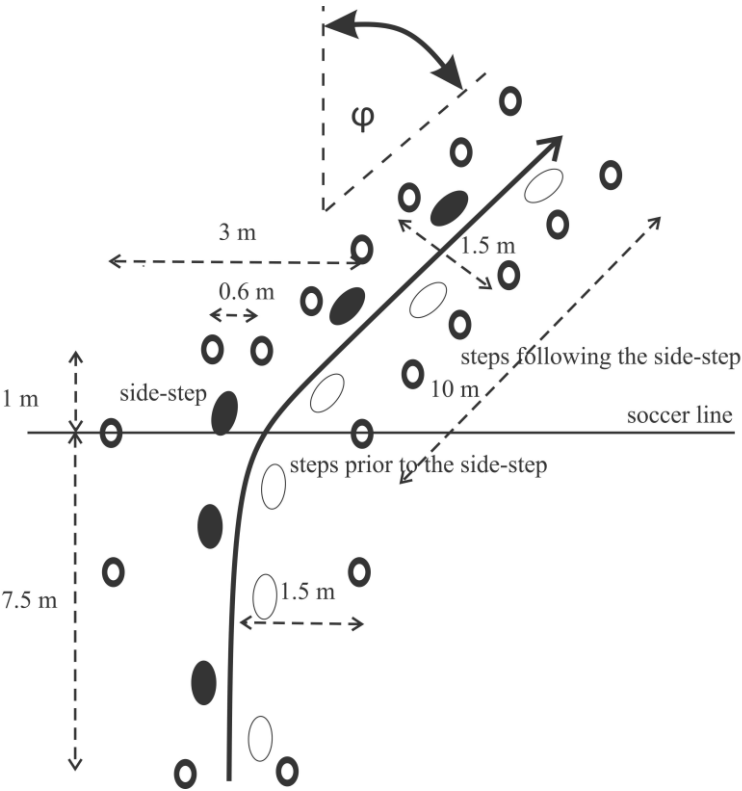


Figure 1: Polygon from agility cones adapted for acceleration and turning at angles 30°, 60°

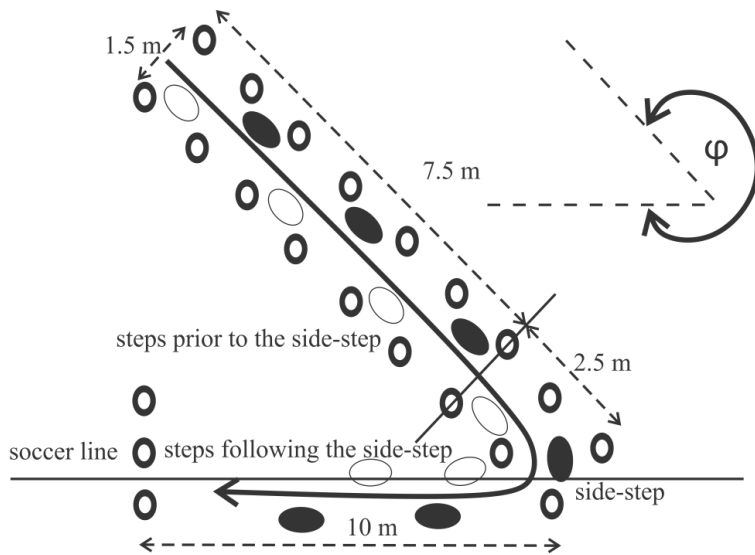


Figure 2: Polygon from agility cones adapted for acceleration straightforward and acceleration while turning at angles from 90° to 180° direction is changed by planting one foot to the opposite direction, was also used. Two different approach speeds were demanded for the flying starts from soccer players: one while already jogging (running at a gentle pace of ~ 10 km/h) and the other while already running (~ 15 km/h).

Each then player accelerated from all of the approach speeds at maximal effort. Each trial was followed by 1 min rest in order to avoid fatigue. No acceleration exceeded 10 s and we can therefore assume that the effort was based on the disintegration of creatine phosphate (Astrand & Rodahl, 1986). To fully replenish creatine phosphate, 1 min of rest is needed and the soccer players were given this after each measurement. In addition, the players were divided into two groups of four which were measured separately. Every player performed the acceleration and turning at all of the intended approach speeds at two different and random angles. In the meantime, the three other soccer players rested.

Instruments

In order to identify the steps, all trials were recorded with a full high-definition and high speed video enabled camera Casio EX F1 at a frame rate of 60 Hz (Casio Computer Co., Ltd., Tokyo, Japan). The camera was mounted on a tripod, 1 m in front of the start line and 6 m to the left side of the body. In order to ensure a larger figure in the video footage, the camera

operator followed the participants during their trials. A high-end Real Time Kinematics Global Navigation Satellite System (GNSS RTK) with 99.99% position survey reliability, according to the manufacturer (Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland), was used to measure the athletes' trajectories. A rover and a reference station were built using identical hardware components: a dual frequency L1/L2, geodetic, a GNSS RTK receiver Leica GX1230GG, a Leica GLONASS/GPS AX1202 GG survey antenna and Leica Satellite 3AS radio modems for real-time corrections. The system was set to RTK mode and a 20 Hz sampling rate, where it works with $SD < 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ (parts per million) and $SD < 20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ horizontal and vertical accuracy, respectively (Supej, 2010).

During the data collection, the reference station was placed on a fixed tripod located less than 100 m away from all surveyed points in order to transmit real-time corrections and ensure maximum accuracy. To capture the soccer players' trajectories, the rover's receiver, modem and antenna were placed in a small backpack worn by the athlete, with the antenna at the level of the upper thoracic spine (T2-T4). Despite the size (0.212 x 0.166 x 0.079 m) and weight (1.64 kg), the soccer players did not complain about any performance-related discomfort or disturbance.

To control the soccer players' approach speed in real time, two Microgate Polyfemo photocells and Racetime 2 chronometers (Microgate S. r. l., Bolzano, Italy) with an accuracy of 1 ms were mounted 3 m apart from each other at approximately hip height according to the recommendations of Yeadon et al. (Yeadon, Kato, & Kerwin, 1999). The participants were given verbal encouragement to run at a certain chosen approach speed. If the speed deviated by more than $\pm 2 \text{ km/h}$ from the desired speed, the participant was asked to repeat the measurement.

Data analysis

Matlab R2007a (MathWorks, Natick, Massachusetts, USA) was used to analyse the surveyed data. The surveyed trajectories were filtered with the Rauch-Tung-Striebel algorithm (Rauch, Tung, & Striebel, 1965) which uses two unscented Kalman filters running forward and backward in time and performs fixed-interval offline smoothing of the estimated signals. The

filters' frequency was set to the lowest value which visually filtered out the steps' fluctuations in speed. The running speed and acceleration at each point of observation were retrieved from the optimal estimation of the Kalman filter. To facilitate a synchronised analysis of video recordings with GNSS RTK measurements, the video recordings were at first transformed to 50 Hz via a frame-to-field method using open source video-editing software (Virtualdub 1.9.11). Then the lowest squat position was detected on the videos and synchronised with the corresponding GNSS RTK measurement by identifying the change in vertical velocity from downward to upward. Finally the videos were down-sampled to 20 Hz in order to match the GNSS RTK sampling frequency.

The intervals of foot contacts and corresponding steps were determined on the basis of video recordings. The approach speed was thereafter determined as the speed before the step in which the lowering of the body's centre of gravity was initiated, while the turning angle in each step was calculated as the difference between the direction of movement at beginning of the first foot contact and the direction of movement of the start of the following foot contact. The margin for turning in each step of 3.0° was determined from the calculation of the mean value of the maximal absolute mean turning angles during straightforward accelerations from a standstill, while jogging and while running. This value also corresponds to the trunk roll movement during straight path locomotion, which is less than $\pm 3^\circ$ (Patla et al., 1999). For the starts performed from a standstill, the side-step and the following five steps were examined, while for the flying starts the side-step, the two steps prior to the side-step and the five steps following the side-step were examined.

Statistics

The data were presented as the mean and standard deviation. Correlations between the intended turning angle and the mean magnitude of the actual turning angle in each step and the correlation between the approach speed and the mean magnitude of the actual turning angle in each step were determined using Pearson's coefficient. Thresholds for small, moderate and large correlation coefficients suggested by (Cohen, 1988) were used. A p-value of 0.01 was chosen as the level of statistical significance.

Results

Tables 1, 2 and 3 show the mean change in the direction and corresponding standard deviations of the observed steps when the soccer players accelerated with turning at different approach speeds. For the acceleration and turning from a standstill at angles of 30° and 180° the soccer players needed two steps, at an angle of 60° three steps and at angles of 90°, 120° and 150° four steps to complete the turning. When the soccer players initiated acceleration and turning while already jogging at an angle of 30° the turning lasted from the side-step and two more steps, at an angle of 60° from the side-step and three more steps, at angles of 90° and 120° from the step prior to the side-step and five more steps, at an angle of 150° from the step prior to the side-step and four more steps, and at an angle of 180° from the first to the second step following the side-step. For acceleration and turning while already running at an angle of 30° the turning lasted from the step prior to the side-step and three more steps, at an

Table 1: Mean turning angles (°), standard deviations (°) in steps during acceleration and turning from a standstill.

Ita		Side-step	1 sfss	2 sfss	3 sfss	4 sfss	5 sfss
	N	8	8	8	8	8	8
0	Meanta	-4.4*	1.8	0.5	-0.1	0.1	0.0
	SD	3.8	6.0	4.7	1.5	1.4	1.1
30	Meanta	11.9*	23.3*	2.0	0.0	-1.4	-0.5
	SD	8.8	8.7	3.1	1.9	1.4	0.9
60	Meanta	20.2*	36.5*	4.0*	1.5	-1.5	-0.1
	SD	19.2	18.5	5.7	1.4	0.7	0.9
90	Meanta	45.6*	34.6*	6.1*	4.8*	0.8	0.8
	SD	36.5	26.4	9.8	2.5	1.7	1.1
120	Meanta	63.4*	38.8*	7.2*	4.5*	0.9	2.3
	SD	38.4	44.1	9.5	2.2	0.5	1.0
150	Meanta	72.9*	60.8*	5.1*	5.9*	0.9	2.4
	SD	36.3	41.8	3.1	2.5	2.6	2.0
180	Meanta	93.7*	84.4*	1.2	0.9	0.0	0.1
		51.0	52.5	1.9	2.7	1.6	1.8

Legend: Ita – intended turning angle (°), sfss – step following side-step, meanta – mean turning angle, SD – standard deviation, * - turning angle greater than 3.0°.

angle of 60° from the step prior to the side-step and four more steps, at angles of 90° and 120° from the step prior to the side-step and five more steps, at an angle of 150° from the side-step and four more steps, and at an angle of 180° from the side-step to the second step following the side-step.

Table 2: Mean turning angles (°) and standard deviations (°) in steps during acceleration and turning while already jogging.

Ita	Mappsp		2 spss	1 spss	Side- step	1 sfss	2 sfss	3 sfss	4 sfss	5 sfss
		N	8	8	8	8	8	8	8	8
0	10.1±1.7	Meanta	1.8	2.7	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	0.0	-0.3
		SD	4.5	4.7	1.4	1.0	0.8	0.7	0.8	0.7
30	10.1±1.4	Meanta	-2.5	2.5	7.5*	13.0*	3.2*	1.6	-0.6	0.6
		SD	4.2	3.2	6.7	14.8	5.2	1.7	1.6	1.5
60	9.6±1.1	Meanta	-2.3	1.6	10.7*	26.6*	12.7*	6.2*	2.1	0.8
		SD	2.7	3.2	2.7	8.0	5.9	2.3	2.2	1.2
90	9.5±1.3	Meanta	0.1	5.0*	15.0*	36.2*	20.7*	7.8*	3.5*	2.4
		SD	4.5	7.0	7.3	17.1	8.8	2.2	2.9	1.5
120	10.1±1.6	Meanta	-0.1	4.0*	16.2*	36.7*	51.7*	8.0*	3.0*	1.5
		SD	1.8	4.9	19.7	13.3	22.7	4.0	1.5	1.9
150	9.9±1.3	Meanta	1.9	5.7*	9.6*	60.8*	63.6*	5.2*	0.5	0.9
		SD	2.7	3.7	1.7	36.2	37.4	5.0	2.9	1.1
180	10.8±0.8	Meanta	1.2	0.5	1.5	115.3*	57.9*	2.5	1.4	-0.6
		SD	0.7	4.8	2.9	75.9	75.0	1.0	0.9	1.7

Legend: Ita – intended turning angle (°), Mappsp – approach speed (km/h), spss – step prior to side-step, sfss – step following side-step, meanta – mean turning angle, SD – standard deviation, * - turning angle greater than 3.0°.

Table 3: Mean turning angles (°) and standard deviations (°) in steps during acceleration and turning while already running.

Ita	Mappsp		2 spss	1 spss	Side- step	1 sfss	2 sfss	3 sfss	4 sfss	5 sfss
		N	8	8	8	8	8	8	8	8
0	15.6±1.0	Meanta	-1.2	0.2	-0.1	0.0	-0.5	0.0	-0.1	0.2
		SD	4.3	1.5	1.5	0.8	0.9	0.8	0.5	0.5
30	15.1±0.8	Meanta	-1.2	3.3*	6.9*	11.9*	6.9*	2.6	0.3	0.2
		SD	4.3	1.7	1.3	2.4	2.6	0.8	0.6	0.7
60	14.9±1.2	Meanta	1.4	5.0*	12.7*	16.6*	13.1*	5.8*	1.9	0.8
		SD	1.9	2.9	2.3	4.1	4.8	1.5	1.5	2.8
90	15.0±0.7	Meanta	0.9	8.9*	14.6*	24.6*	24.9*	13.5*	3.3*	1.3
		SD	0.6	11.4	18.7	6.7	16.9	4.3	4.2	2.5
120	14.6±1.5	Meanta	1.2	3.3*	7.0*	38.2*	52.2*	10.8*	3.6*	2.0
		SD	2.1	3.8	5.0	14.4	12.1	4.7	3.1	1.3
150	14.7±1.7	Meanta	2.8	2.8	8.3*	67.9*	62.8*	3.3*	0.1	0.6
		SD	1.2	2.4	13.6	66.2	72.7	3.5	2.1	1.2
180	15.6±1.4	Meanta	1.2	2.4	3.2*	133.5 *	40.3*	1.3	-1.2	0.4
		SD	1.2	1.1	0.9	81.4	82.5	2.3	1.0	0.4

Legend: Ita – intended turning angle (°), Mappsp – mean approach speed (km/h), spss – step prior to side-step, sfss – step following side-step, meanta – mean turning angle, SD – standard deviation, * - turning angle greater than 3.0°.

Table 4 shows the correlation between the intended turning angle and the actual average turning angle in the observed steps while accelerating straightforward and while accelerating with a turn at different approach speeds. With starts made while already running, the intended turning angle had a strong correlation with the average turning angle two steps prior to the side-step, with starts from a standstill the intended turning angle had a strong correlation with the average turning angle during the side-step and the first step following the side-step, whereas with starts while already jogging and running the intended turning angle had a strong correlation with the average turning angle during the first step following the side-step and during the second step following the side-step.

Table 4: Correlation between the intended turning angle and the actual average turning angle in observed steps during acceleration straightforward and acceleration with turning at different approach speeds.

		2	1	Side-	1 sfss	2 sfss	3 sfss	4 sfss	5 sfss
		spss	spss	step					
N		7	7	7	7	7	7	7	7
Standstill	Pearson			.995*	.950*	.345	.553	.493	.556
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)			.000	.001	.449	.198	.261	.195
Jogging	Pearson	.384	.106	.170	.919*	.952*	.420	.362	.051
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	.396	.822	.716	.003	.001	.348	.425	.913
Running	Pearson	.805*	.115	.103	.897*	.881*	.155	-.086	.308
	Correlation								
	Sig. (2-tailed)	.029	.805	.826	.006	.009	.740	.855	.501

Legend: Spss – step prior to side-step, sfss – step following side-step, Sig. – significance, * - $p < 0.01$.

Table 5 shows the correlation between the approach speed and the turning angle in the observed steps while accelerating straightforward and accelerating while turning. A moderate positive correlation between the approach speed and acceleration with a turn at an angle of 60° occurred two steps prior to the side-step.

There was also a moderate positive correlation between the approach speed and acceleration straightforward and a moderate negative correlation between the approach speed and acceleration while turning at angles of 90° to 180° when performing the side-step. A moderate negative correlation between the approach speed and acceleration while turning was also found during the first step following the side-step when the soccer players accelerated with a turn at an angle of 60° . When the soccer players accelerated while turning in different directions the approach speed had a moderate positive correlation in the second step following the side-step while turning at angles of 60° to 120° , in the third step following the side-step while turning at angles of 30° to 120° , and in the fourth step following the side-step while turning at angles of 30° , 60° and 120° .

Table 5: Correlation between the approach speed and turning angle in observed steps during acceleration straightforward and acceleration with turning.

		2 spss	1 spss	Side- step	1 sfss	2 sfss	3 sfss	4 sfss	5 sfss
Ita	N	16	16	24	24	24	24	24	24
0°	Pearson Correlation	-.456	-.518	.626*	-.234	-.153	.021	-.112	.088
	Sig. (2-tailed)	.076	.040	.001	.272	.474	.923	.603	.681
30°	Pearson Correlation	.248	-.009	-.330	-.436	.473	.620*	.521*	.349
	Sig. (2-tailed)	.354	.972	.115	.033	.019	.001	.009	.095
60°	Pearson Correlation	.707*	.444	-.327	-.564*	.585*	.713*	.679*	.249
	Sig. (2-tailed)	.002	.085	.119	.004	.003	.000	.000	.240
90°	Pearson Correlation	.043	.199	-.538*	-.158	.600*	.752*	.360	.117
	Sig. (2-tailed)	.873	.461	.007	.461	.002	.000	.084	.585
120°	Pearson Correlation	.512	-.166	-.777*	.076	.772*	.582*	.518*	-.051
	Sig. (2-tailed)	.043	.540	.000	.724	.000	.003	.010	.812
150°	Pearson Correlation	.221	-.259	-.787*	.203	.371	-.272	-.251	-.438
	Sig. (2-tailed)	.410	.332	.000	.342	.074	.199	.238	.032
180°	Pearson Correlation	.342	.147	-.777*	.316	.254	.148	-.151	.069
	Sig. (2-tailed)	.194	.587	.000	.132	.232	.491	.481	.748

Legend: Ita – Intended turning angle (°), spss – step prior to side-step, sfss – step following side-step, Sig. – significance, * - $p < 0.01$.

Discussion and Conclusions

The main findings of the study are that: acceleration while turning from a standstill could last until the second or third step had been performed following the side-step depending on the angle of turning, whereas at a higher approach speed the turning could already be seen while performing the step prior to the side-step, the side-step or the step following the side-step and could last until the second, third or even fourth step had been performed following the side-step, depending on the angle of turning. The intended turning angle revealed a large effect on the magnitude of the turning angle during the side-step and the following step for acceleration

and turning from a standstill, and during the first two steps following the side-step for starts made while already jogging and running. Further, a major part of the turning began earlier at a lower approach speed, allowing for the quicker completion of the turn.

With acceleration while turning the step performed two steps prior to the side-step were studied when the participants entered at the approach speeds (Tables 2 & 3). The high correlation between the intended turning angle and the actual average turning angle for starts while running suggest preparations for a change in direction with starts at higher approach speeds, although for all approach speeds the value of the turning angle for this step remains below 3^0 (the chosen threshold that determined the presence of turning).

In the step prior to the side-step, the results demonstrated a relatively small rate of turning when the soccer players accelerated while turning at intended angles from 90° to 150° while jogging, and with an intended turning angle from 30° to 120° while running with the highest rate of turning at 90° (Tables 2 & 3). This is in line with previous studies showing that athletes typically display a lateral movement directed towards the intended running line prior to the side-step when the movement direction is planned in advance (Andrews, McLeod, Ward, & Howard, 1977; Wheeler & Sayers, 2010). The main exceptions are the 150° and 180° cases where the absence of turning was noticed.

Proficient generation of lateral movement speed during the side-step is a critical component of evasive agility skill execution in multi-lateral sports (Wheeler & Sayers, 2010). The analysis of the side-step showed that during acceleration and turning at all approach speeds the rate of turning exceeded the selected threshold with the exception of acceleration when turning at an angle of 180° while already jogging (Table 2). When performing the side-step, the greatest changes in direction occurred during acceleration with turning from a standstill when the higher desired change in direction results in a greater actual change in direction (Table 1). This indicates the side-step is one of two key steps for acceleration and turning from a standstill. Moreover, the higher approach speed decreased the actual turning angle during acceleration while turning at angles of $\geq 90^\circ$, but for a lower turning angle of 60° the same effect occurred in the step following the side-step (Table 5). These results are likely to be

connected with findings that to change direction at higher speeds, athletes must first decelerate and lower their centre of gravity (Sayers, 2000).

In the step that followed the side-step the turning angle during acceleration and turning always exceeded the limit raised for the turning and the turning angle in this step was positively influenced by the intended turning angle regardless of the approach speed of movement (Table 4). According to the high correlation between the intended turning angle and the actual turning angle while performing the step that followed the side-step, this step tends to be one of two main steps irrespective of the approach speed.

For starts from a standstill, the second step following the side-step proved to be the step for making minor corrections in the turning angle during acceleration while turning (Table 1). For the transition from jogging and turning at angle 60° to jogging straightforward two major steps: side-step; and following step were required (Jindrich & Mu, 2009). But during accelerating and turning for starts while already jogging and running the second step following the side-step also tended to be one of two major ones due to the high correlation between the intended turning angle and the actual turning angle while performing the step after the side-step (Tables 2, 3). The actual turning angle in this second step following the side-step was positively influenced by the intended turning angle when the soccer players had a flying start (Table 4). A higher approach speed increased the actual turning angle during acceleration and turning at angles of 60° to 120° (Table 5), which can be as explained as a form of compensation for the relatively low rates of turning during the side-steps in these trials.

Compensatory adjustments may also occur in the third and/or fourth step following the side-step, depending on the intended turning angle. This is similar with the findings, that the acceleration while turning sometimes requires several steps before completion (Ohtsuki, Yanese, & Aoki, 1987). While performing the third step following the side-step, minor corrections in turning angles occurred when the soccer players accelerated while turning from a standstill at intended turning angles of between 90° and 150° and when the soccer players accelerated while turning when already jogging or running at angles of $\geq 60^\circ$. A higher approach speed increased the actual turning angle in this 3rd step during acceleration and turning for intended turning angles of $\leq 120^\circ$. A minor correction in turning during the fourth

step following the side-step occurred when accelerating while turning from a flying start for intended angles of between 90° and 120°. Since the 4th step after the side-step seems to be quite late for turning, in the future it would be beneficial to investigate whether proper training can improve the performance by finishing the turning a step earlier.

All of the present findings are limited by the estimation of the centre of mass movement derived by a high-end GNSS system where it was not possible to place the surveying antenna exactly in the centre of the body's mass. Another limitation is the relatively low frequency of the data collection which however, in relation to the duration and displacements of the steps, was sufficient for the purpose of the study. All measurements were carried out with soccer players without a ball, which affected the results accordingly. However, soccer players are only in possession of the ball during 1.2 - 2.4% of the total distance covered (Di Salvo et al., 2007). Results are thus reflecting most of the acceleration and turning during a game.

Our study's main advantage over others is that it includes a set of approach speeds from which it makes sense to accelerate and a set of several angles across the range in which a soccer player moves during a game. In addition, all of the trials were performed on a soccer field using full soccer player equipment. In the future, we intend to investigate the influence of a ball on soccer players' ability to turn and compare these results with the present results where no ball was involved. It would be beneficial to investigate, if the results would stay comparable when fatigue appears during a game. Another plan is to perform measurements of whole body 3D kinematics to allow the observation of changes in technique and possible connections with injuries.

In conclusion, our study enables us to better understand the initiation, development and completion of acceleration while turning at different approach speeds, which is a determinant of field sports performance (Sheppard & Young, 2006). Acceleration with a turn is mainly performed in two major steps, the side-step and the following step for starts from a standstill, and the first two steps following the side-step from a jogging or running start in which the magnitude of the turning angle depends on the soccer player's intentions to accelerate in a certain direction. The effectiveness of how these major steps are executed is probably one of the key moments in a one-on-one game situation. With starts while already jogging or running there could be two or fewer preparatory steps prior to the two major steps depending on the intended turning angle and there could be at least one or more corrective steps following the

two major steps depending on the intended turning angle. Finally, the present study could be used as a basis for understanding and modelling soccer players' acceleration while turning at different approach speeds. The findings could also be used in other sports despite the fact that not all of them are being played at the natural playing ground, i.e. grass, using studs.

References

- Andrews, J. R., McLeod, W. D., Ward, T., & Howard, K. (1977). The cutting mechanism. *The American Journal of Sports Medicine*, 5(3), 111-121.
- Astrand, P. O., & Rodahl, K. (1986). *Textbook of Work Physiology*. McGraw-Hill Book Company.
- Baker, D., & Nance, S. (1999). The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(3), 230-235.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6(1), 63-70.
- Buchheit, M., Bishop, D., Haydar, B., Nakamura, F. Y., & Ahmaidi, S. (2010). Physiological Responses to shuttle repeated-sprint running. *International Journal of Sports Medicine*, 31(6), 402-409.
- Buchheit, M., Haydar, B., & Ahmaidi, S. (2012). Repeated sprints with directional changes: Do angles matter? *Journal of Sports Sciences*, 30(6), 555-562.
- Chang, Y. H., & Kram, R. (2007). Limitations to maximum running speed on flat curves. *The Journal of Experimental Biology*, 210, 971-982.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum.
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. (Force isocinetique et puissance anaerobie de joueurs francais de football de premiere division, de seconde division et amateurs). *International Journal of Sports Medicine*, 22(1), 45-51.

- Deutsch, M. U., Kearney, G. A., & Rehrer, N. J. (2002). A comparison of competition work rates in elite club and 'Super 12' rugby In Spinks, W. (ed.), *Science and football IV* (160-166). London, United Kingdom: Routledge.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222-227.
- Docherty, D., Wenger, H. A., & Neary, P. (1988). Time motion analysis related to the physiological demands of rugby (Analyse temps mouvement en relation avec les exigences physiologiques du jeu au rugby). *Journal of Human Movement Studies*, 14(6), 269-277.
- Douge, B. (1988). Football: The common threads between the games. In Reilly, T. et al. (eds.), *Science and football: proceedings of the First World Congress of Science and Football* (3-19). Liverpool, United States, 12-17 April 1987.
- Grasso, R., Glasauer, S., Takei, Y., & Berthoz, A. (1996). The predictive brain: Anticipatory control of head direction for the steering of locomotion. *Neuroreport*, 7(6), 1170-1174.
- Jindrich, D. L., & Mu, Q. (2009). Maneuvers during legged locomotion. *Chaos*. 19(2), 1-14.
- Keller, J. B. (1973). *Physics Today*. 26(9), 42.
- Medendorp, W. P., Van Gisbergen, J. A. M., & Gielen, C. C. A. M. (2002). Human gaze stabilization during active head translations. *Journal of Neurophysiology*, 87(1), 295-304.
- Ohtsuki, T., Yanase, M., & Aoki, K. (1987). Quick change of the forward running direction in response to unexpected changes of situation with references to ball games. In *Biomechanics X-A, X-B*, (629-635). Champaign, Ill., United States, Human Kinetics Publishers, c1987.
- Patla, A. E., Adkin, A., & Ballard, T. (1999). Online steering: coordination and control of body center of mass, head and body reorientation. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, 129(4), 629-634.
- Rauch, H., Tung, F., & Striebel, C. (1965). Maximum likelihood estimates of linear dynamic systems. *AIAA Journal*, 3, 1445-1450.
- Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. (Energetique de l 'exercice de forte intensite (football) en examinant plus particulièrement la fatigue). *Journal of Sports Sciences*, 15(3), 257-263.

- Reilly, T., & Borrie, A. (1992). Physiology applied to field hockey. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 14(1), 10-26.
- Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J. E. L., & Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. (Etude des profils anthropometriques et des capacites physiques de joueurs internationaux sud-americains de football). *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 40(2), 162-169.
- Sayers, M. (2000). Running techniques for field sport players. (Techniques de course pour les joueurs de jeux d'exterieur). *Sports Coach*, 23(1), 26-27.
- Segers, V., Lenoir, M., Aerts, P., & De Clercq, D. (2007). Kinematics of the transition between walking and running when gradually changing speed. *Gait & Posture*, 26(3), 349-361.
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919-932.
- Supej, M. (2010). 3D measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK system. *Journal of Sports Sciences*, 28(7), 759-769.
- Wheeler, K. W., & Sayers, M. G. L. (2010). Modification of agility running technique in reaction to a defender in rugby union. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(3), 445-451.
- Yeadon, M. R., Kato, T., & Kerwin, D. G. (1999). Measuring running speed using photocells. *Journal of Sports Sciences*, 17(3), 249-257.
- Young, W., Benton, D., Duthie, G., & Pryor, J. (2001). Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. (Entrainement de resistance pour des sprints courts et des sprints a vitesse maximale). *Strength & Conditioning Journal*, 23(2), 7-13.
- Young, W., Hawken, M., & McDonald, L. (1996). Relationship between speed, agility and strength qualities in Australian Rules football. *Strength & Conditioning Coach*, 4(4), 3-6.