

# Važnost deceleracije u nogometu

---

**Klunić, Ivica**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2025**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:963094>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
KINEZIOLŠKI FAKULTET**

**Ivica Klunić**

**VAŽNOST DECELERACIJE U NOGOMETU**

specijalistički diplomski rad

Zagreb, listopad, 2024.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

### SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI RAD

**Sveučilište u Zagrebu**

**Kineziološki fakultet**

Horvaćanski zavoj 15, 10 000 Zagreb, Hrvatska

**Naziv studija:** Izobrazba trenera; smjer: Kondicijska priprema sportaša

**Vrsta studija:** stručni

**Razina kvalifikacije:** diplomski studij

**Studij za stjecanje akademskog naziva:** magistar trenerske struke kondicijske pripreme sportaša (mag.cin.)

**Znanstveno područje:** Društvene znanosti

**Znanstveno polje:** Kineziologija

**Vrsta rada:** Stručni diplomski rad i specijalistički diplomski rad

**Naziv završnog rada:** je prihvaćena od strane Povjerenstva za diplomske radove Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u akademskoj godini 2024./2025. dana 31. listopada 2024.

**Mentor:** izv.prof.dr.sc. Luka Milanović

**Pomoć pri izradi:** Marko Matušinski mag.cin

### **Važnost deceleracije u nogometu**

Ivica Klunić, 00340832382

### **Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:**

1. izv. prof. dr. sc. Luka Milanović – Predsjednik – mentor
2. dr. sc. Marin Dadić – član
3. doc. dr. sc. Ivan Krakanić – član
4. prof. dr. sc. Igor Jukić – zamjena člana

### **Broj etičkog odobrenja:**

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kineziološkog fakulteta,  
Horvaćanski zavoj 15, Zagreb**

**BASIC DOCUMENTATION CARD**

**SPECIALIST DIPLOMA THESIS**

**University of Zagreb**  
**Faculty of Kinesiology**  
Horvacanski zavoj 15, 10000 Zagreb, Croatia

**Title of study program: Sports Coach Education; course: Strenght & Conditioning**

**Type of program: Professional**

**Level of qualification: Graduate**

**Acquired title: Master of the Coaching Profession in Strenght & Conditioning**

**Scientific area: Social sciences**

**Scientific field: Kinesiology**

**Type of thesis: Scientific-research/Professional work**

**Master thesis: has been accepted by the Committee for Graduation Theses of the Faculty of Kinesiology of the University of Zagreb in the academic year 2024/2025) on October 31, 2024.**

**Mentor: Prof. Luka Milanović, PhD**

**Technical support: Marko Matušinskij mag.cin.**

**The importance of deceleration in football**

Ivica Klunić, 00340832382

**Thesis defence committee:**

1. Prof. Luka Milanović, PhD, chairperson – supervisor
2. Marin Dadić, PhD – member
3. Ass.prof. Ivan Krakan, PhD – member
4. Prof. Igor Jukić, PhD – substitute member

**Ethics approval number:**

**Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Kinesiology,  
Horvacanski zavoj 15, Zagreb**

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završna verzija specijalističkog diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

Izv.pro.dr.sc. Luka Milanović

Student:

## VAŽNOST DECELERACIJE U NOGOMETU

### Sažetak

Deceleracija predstavlja ključnu komponentu u sportovima s nasumičnim promjenama smjera i dinamičkim kretanjima, a osobito je važna u nogometu. Nogometaši često trebaju naglo usporiti ili se zaustaviti tijekom driblinga, sprintova, ulaska u duele ili promjene smjera, što zahtijeva visoku razinu kontrole tijela i preciznosti u izvedbi. Horizontalna deceleracija je složen proces koji uključuje koordinaciju i neuromuskularnu kontrolu, s posebnim naglaskom na aktivaciju mišića ekstenzora gležnja, koljena i kuka. Razvijanje ovih vještina putem ciljano strukturiranih treninga može značajno poboljšati sportske performanse, omogućujući bržu reakciju na zahtjeve igre.

Osim što poboljšava izvedbu, pravilno treniranje deceleracije igra ključnu ulogu u prevenciji ozljeda, posebno onih koje se odnose na prednji križni ligament (ACL), koji je često opterećen tijekom naglih usporavanja. Efikasno treniranje deceleracije smanjuje stres na zglobove i mišiće, čime se smanjuje rizik od ozljeda i omogućuje brži oporavak između utakmica. U nogometu, sposobnost brzog usporavanja često utječe na ishod ključnih situacija na terenu. Igrači koji posjeduju bolje razvijenu sposobnost deceleracije mogu bolje promijeniti smjer, izbjegavati protivnike i optimizirati svoje obrambene i napadačke akcije.

Vježbe koje se fokusiraju na ekscentrično opterećenje i brzu ekscentričnu aktivaciju ključne su za poboljšanje performansi u deceleraciji. Ove vježbe pomažu u apsorpciji sila prilikom naglog zaustavljanja, čime se smanjuje rizik od ozljeda i poboljšava oporavak. Kako bi se maksimizirao potencijal deceleracijskog treninga, potrebno je dodatno istraživanje specifičnih protokola treninga koji optimiziraju ovu sposobnost kod nogometaša, uključujući intenzitet, volumen i periodizaciju. Integracija ovih vježbi u treninge, uz korištenje novih tehnologija kao što su otporni uređaji i elastične trake, može unaprijediti performanse i smanjiti rizik od ozljeda, osiguravajući dugovječnost sportaša na visokoj razini.

### Ključne riječi

deceleracija, prevencija ozljeda, kondicijska priprema sportaša, ekscentrični trening, izometrija, nogomet, izvedba, promjena smjera, agilnost

## **THE IMPORTANCE OF DECELERATION IN FOOTBALL**

### **Abstract**

Deceleration is a crucial component in sports involving frequent changes of direction and dynamic movement, particularly in football. Footballers often need to suddenly slow down or stop during dribbling, sprinting, engaging in duels, or changing direction, which requires a high level of body control and precision in execution. Horizontal deceleration is a complex process involving coordination and neuromuscular control, with a specific emphasis on the activation of the ankle, knee, and hip extensor muscles. Developing these skills through targeted, structured training can significantly enhance athletic performance by enabling quicker responses to game demands.

In addition to improving performance, proper deceleration training plays a key role in injury prevention, especially concerning the anterior cruciate ligament (ACL), which is often stressed during abrupt decelerations. Effective deceleration training reduces stress on joints and muscles, thereby lowering the risk of injury and facilitating faster recovery between matches. In football, the ability to decelerate quickly often impacts the outcome of critical on-field situations. Players with a well-developed deceleration capability can better change direction, evade opponents, and optimize their defensive and offensive actions.

Exercises focusing on eccentric loading and rapid eccentric activation are crucial for enhancing deceleration performance. These exercises help in absorbing forces during sudden stops, reducing injury risk and improving recovery. To maximize the potential of deceleration training, further research is needed on specific training protocols that optimize this ability in footballers, including intensity, volume, and periodization. Integrating these exercises into training, along with using new technologies such as resistance devices and elastic bands, can enhance performance and reduce injury risk, ensuring athletes' longevity at a high level.

### **Key words**

deceleration, injury prevention, athlete conditioning, eccentric training, isometry, football, performance, direction change, agility

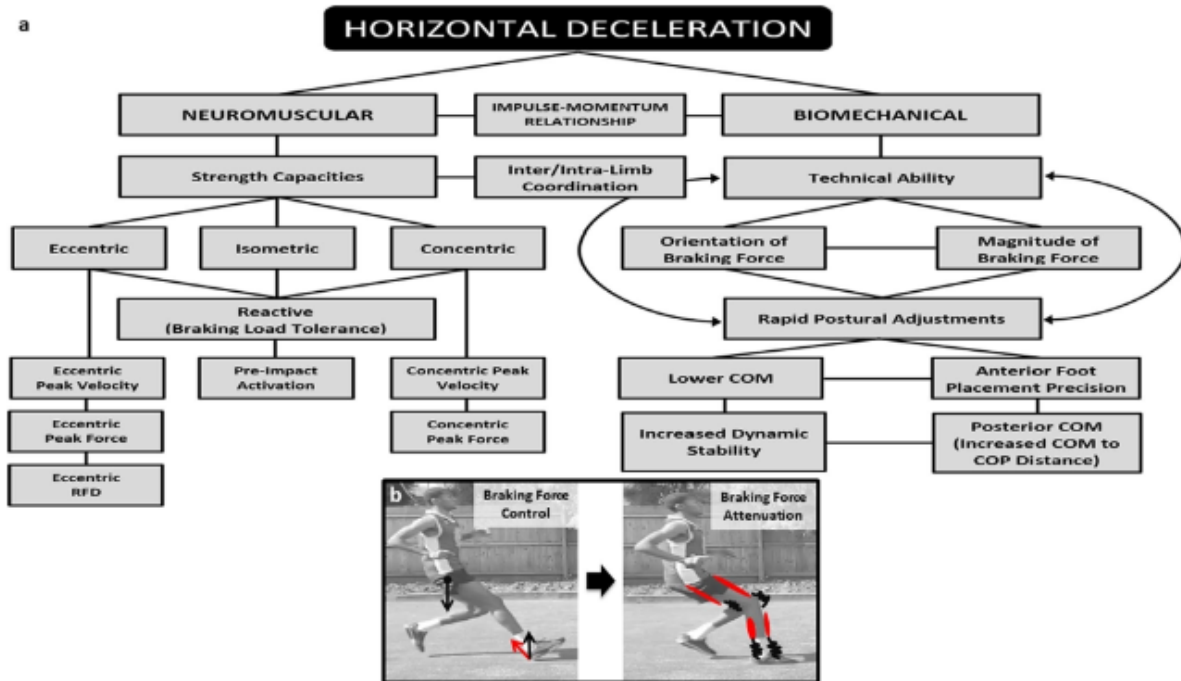
## Sadržaj

1. Uvod.....	8
1.1. Deceleracija u nogometu.....	8
1.2. Dosadašnje spoznaje o deceleraciji u sportu.....	9
1.3. Pregled istraživanja.....	11
2. Biomehanički zahtjevi deceleracije .....	15
2.1. Kinetički i kinematički zahtjevi deceleracije.....	15
2.2. Uloga mišićno – koštanog sustava.....	18
2.3. Profili sile reakcije tla .....	18
3. Fiziološke determinante deceleracije .....	20
3.1. Metabolički i energetske zahtjevi .....	20
3.2. Neuralni mehanizmi i njihova uloga.....	21
3.3. Neuromuskularni procesi i njihova uloga .....	23
4. Deceleracija u kontekstu nogometne igre .....	27
4.1. Deceleracija kao faktor prevencije ozljeda .....	30
5. Trening deceleracije u nogometu .....	32
5.1. Dijagnostika motoričkih sposobnosti u svezi s deceleracijom .....	32
5.2. Programi treninga za razvoj deceleracije .....	42
5.3. Progresivno opterećenje i specifične vježbe .....	49
5.4. Integracija deceleracije u cjelokupni trenažni proces .....	56
6. Zaključak.....	64
Literatura.....	66
Prilozi:.....	69



# 1. Uvod

## 1.1. Deceleracija u nogometu



Slika 1. Biomehaničke i neuromuskularne determinante sposobnosti horizontalnog usporavanja ilustracija komponenta 'kontrola sile kočenja' i 'prigušenja sile kočenja'. COM centar mase, COP centar pritiska, RFD brzina razvoja sile. (Harper DJ i sur., *Biomechanical and Neuromuscular Performance Requirements of Horizontal Deceleration: A Review with Implications for Random Intermittent Multi-Directional Sports*, 2022).

<https://doi.org/10.1007/s40279-022-01693-0>

Tema ovog diplomskog rada usmjerena je na proučavanje deceleracije, odnosno usporavanja, u kontekstu timskih sportova, s posebnim naglaskom na primjenu u nogometu. Deceleracija, kao ključni element kretanja, igra važnu ulogu u nogometu i sličnim sportovima s loptom, gdje igrači često moraju brzo mijenjati smjer kretanja tijekom igre. Horizontalna i višesmjerna usporavanja predstavljaju osnovne mehanizme koji omogućuju igračima kontrolu nad svojim kretanjem te efikasno reagiranje na dinamične situacije na terenu. S obzirom na njihovu važnost, planiranje i programiranje kondicijske pripreme sportaša mora uključivati specifične strategije koje će poboljšati sposobnost deceleracije.

U ovom radu, deceleracija će biti detaljno opisana kao sastavni dio nogometne igre kroz prizmu nekoliko ključnih aspekata. Prvo, analizirat će se biomehaničke determinante deceleracije, s naglaskom na mehaničke sile i pokrete koji sudjeluju u procesu usporavanja (Slika 1). Razumijevanje biomehanike ključno je za razvoj učinkovitih trenažnih metoda koje će smanjiti rizik od ozljeda i poboljšati performanse igrača.

Zatim, rad će obuhvatiti analizu ukupne količine usporavanja koje igrači izvode tijekom treninga i utakmica. Analizom tih podataka doći ćemo do precizne kvantifikacije opterećenja kojem su sportaši izloženi, što je ključno za optimalno planiranje treninga i prevenciju umora i ozljeda.

U radu će se obraditi i fiziološki aspekti deceleracije. To uključuje proučavanje sustava koji se aktiviraju tijekom usporavanja, poput metaboličkog, neuralnog i mišićno-tetivnog sustava. Razumijevanje ovih fizioloških odgovora omogućiti će bolje prilagođavanje treninga specifičnim potrebama sportaša, što ima za zadatak doprinijeti poboljšanju njihovih performansi i smanjenju rizika od ozljeda.

I na kraju rad će se fokusirati na utjecaj treninga na razvoj sposobnosti deceleracije. Ovdje će biti razmotreni različiti trenažni pristupi i metode koje se koriste za poboljšanje sposobnosti igrača da brzo i učinkovito usporavaju kako bi bili što efikasniji u situacijama koje zahtjeva nogometna igra. Analizirat će se i kako specifični trenažni programi mogu povećati otpornost sportaša na visoka opterećenja koja su karakteristična za deceleraciju u nogometu.

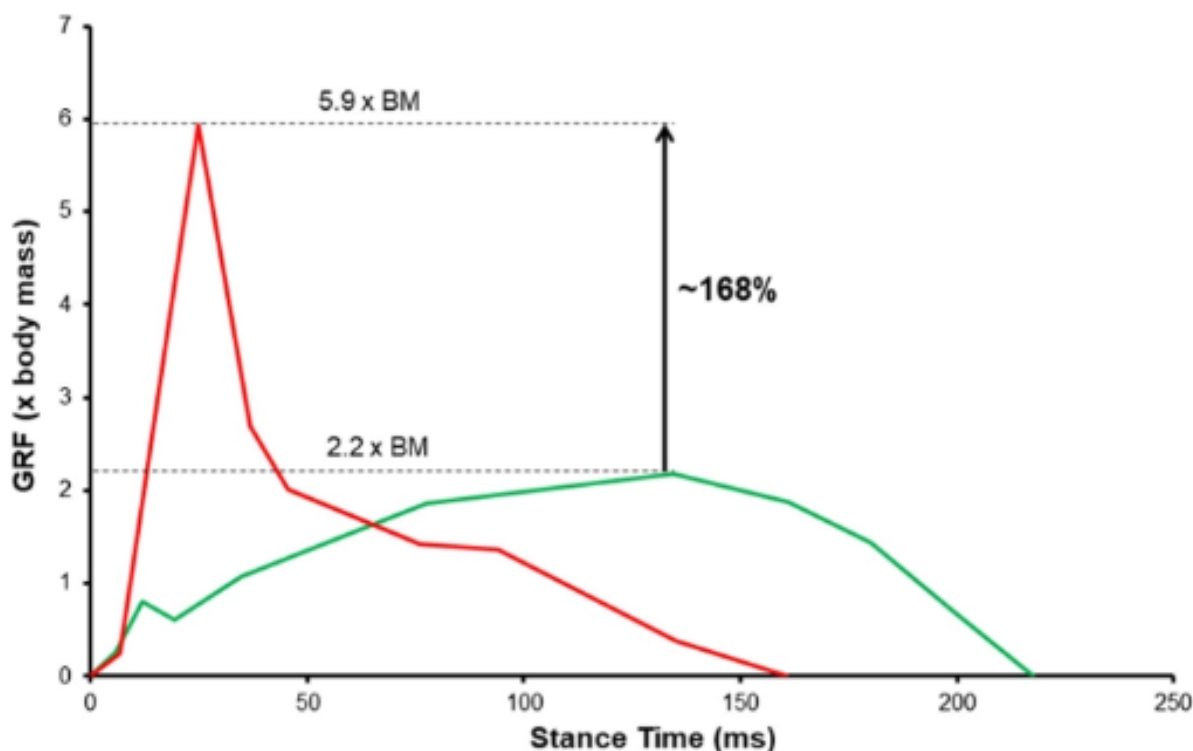
Ovaj rad pružit će sveobuhvatan pregled i analizu deceleracije kao ključnog elementa u nogometu, naglašavajući njenu važnost u kondicijskoj pripremi, prevenciji ozljeda i optimizaciji performansi igrača.

## 1.2. Dosadašnje spoznaje o deceleraciji u sportu

Horizontalna ubrzanja i usporavanja su lokomotorne vještine koje sportašima omogućuju brze promjene smjera i brzine kretanja, stoga su ključne za sportove koji zahtijevaju nasumična isprekidana višesmjerna kretanja. Kako igrači izvode česte sprintove na kratkim udaljenostima tijekom utakmice, sposobnost horizontalnog ubrzanja često se smatra najvažnijom vještinom za sportove sa nasumičnim isprekidanim višesmjernim kretanjama (Harper DJ i sur., 2019.). Horizontalno usporavanje se definira kao sposobnost sportaša da vješto prilagodi kretanju cijelog tijela sa specifičnim ciljevima i zahtjevima u kojima se nalazi (kontrola sile kočenja), odnosno da vješto raspoređuje silu kočenja pri usporavanju (raspoređivanje sile kočenja).

Tijekom horizontalnog usporavanja prvi koraci kočenja pokazuju profil sile reakcije tla koja postiže visoke vrijednosti, (Slika 2) (Harper DJ i sur., 2022).

Horizontalna deceleracija je ishod koordinacijske sposobnosti sportaša pri čemu biomehaničke i neuromuskularne kvalitete međusobno djeluju kako bi se optimizirao impuls kočenja i postiglo željeno smanjenje brzine i promjene smjera kretanja cijelog tijela (Harper DJ i sur., 2022).



Slika 2. Usporedba profila sile reakcije tla (GRF) tijekom maksimalne horizontalne deceleracije (crvena linija) i maksimalne horizontalne akceleracije (zelena linija). (Harper DJ i sur., *Biomechanical and Neuromuscular Performance Requirements of Horizontal Deceleration: A Review with Implications for Random Intermittent Multi-Directional Sports*, 2022). *Sports Medicine*, 2321–2354. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01693-0>

Jako je važno napomenuti da iz perspektive performansi i sposobnosti izvođenja agilnih kretanja tijekom utakmice, veće sile kočenja mogu omogućiti brže postizanje usporavanja u kraćim vremenskim okvirima i udaljenostima, u usporedbi s ubrzavanjem. Na primjer, tijekom igranja nogometne utakmice, igrači na svim pozicijama pokazuju veće magnitude usporavanja ( $-5,7$  do  $-6,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ) od ubrzanja ( $4,4$ – $4,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ). U skladu s navedenim, brza usporavanja su od ključne važnosti za izvedbu nasumičnih višesmjernih kretanja, posebno jer stvaraju prostor koji igračima omogućuje više vremena za izvođenje tehničkih vještina i prijelaz u druge

pokrete visokog intenziteta koji pridonose uspješnim napadačkim i obrambenim ishodima (Harper DJ i sur., 2022).

### 1.3. Pregled istraživanja

Studija provedena od A.J. McBurnie i sur. (2021.) raspravlja o važnosti treninga za usporavanje u momčadskim sportovima kako bi se spriječile ozljede. Naglašava kako visoko intenzivni manevri usporavanja, poput promjena smjera, mogu dovesti do mehaničkog zamora i oštećenja tkiva ako se ne upravlja pravilno. Istraživanje preporučuje specifične treninge za poboljšanje sposobnosti sportaša u upravljanju silama kočenja, čime se smanjuje rizik od ozljeda. Također se ističe potreba za redovitom procjenom, treningom i praćenjem usporavanja radi poboljšanja fizičkih performansi i prevencije ozljeda.

Članak Akenheada i Nassisa (2016) pod nazivom "Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions," istražuje metode praćenja trening opterećenja i nadzora igrača u elitnom nogometu. Proučava kako ove prakse optimiziraju izvedbu, a smanjuju rizik od ozljeda. Studija također raspravlja o percepcijama trenera i stručnjaka o učinkovitosti tih tehnika praćenja. Rezultati sugeriraju da su individualizirani pristupi i napredak u tehnologiji ključni za poboljšanje upravljanja igračima i njihove izvedbe. Članak Andrewa i suradnika (1977), pod nazivom "The Cutting Mechanism," objavljen u časopisu *The American Journal of Sports Medicine*, proučava biomehaniku i mehanizme uključene u pokrete promjene smjera, koji su česti u sportovima koji zahtijevaju nagle promjene smjera. Studija se usredotočuje na fizičke sile koje djeluju na zglobove, posebno koljeno, te rizik od ozljeda tijekom tih manevara. Rezultati pružaju uvid u prevenciju ozljeda i poboljšavaju razumijevanje takvih pokreta u sportu.

Članak "Sposobnost ponavljanja sprintova: Ograničavajući čimbenici i trenažne strategije" autora Daniela Boka i Igora Jukića, objavljen u zborniku radova *Kondicijska priprema sportaša 2013*, istražuje čimbenike koji utječu na sposobnost sportaša da ponavlja sprintove i predlaže strategije treninga za poboljšanje te sposobnosti. U ovom radu analiziraju se ograničenja u izvedbi sprintova i nude konkretni prijedlozi za treninge koji mogu pomoći sportašima da poboljšaju svoju izdržljivost i učinkovitost u ponavljanju sprintova.

Članak Cumminsa i suradnika (2013), pod nazivom "Global Positioning Systems (GPS) and Microtechnology Sensors in Team Sports: A Systematic Review," objavljen u *Sports Medicine*, pruža sveobuhvatan pregled upotrebe GPS-a i mikrotehnoških senzora u momčadskim sportovima. Istražuje njihovu učinkovitost u praćenju kretanja igrača,

opterećenja i performansi. Studija ističe sve veću važnost tih tehnologija u optimizaciji strategija treninga i prevenciji ozljeda te naglašava njihovu ulogu u poboljšanju sportske izvedbe.

DeWeese, B. H., i Nimphius, S. (2016). "Programiranje i tehnike za trening brzine i agilnosti" u knjizi *Essentials of Strength Training and Conditioning* (4. izd., str. 521-558) obrađuju osnove dizajniranja programa za poboljšanje brzine i agilnosti. Autorima je naglasak na biomehanici, učinkovitosti pokreta i prilagodbama specifičnim za sport. Također daju smjernice za strukturiranje treninga kako bi se maksimizirala izvedba i smanjio rizik od ozljeda, što je važno za kondicijske trenere.

Članak autora Girarda, Mendez-Villanueve i Bishopa (2011), pod nazivom "Repeated-Sprint Ability Part I: Factors Contributing to Fatigue," objavljen u časopisu *Sports Medicine*, istražuje ključne čimbenike koji doprinose umoru tijekom aktivnosti ponavljajućih sprintova, čestih u mnogim sportovima. Proučava fiziološke aspekte kao što su iskoristivost energetskih sustava, mišićni umor i metabolički nusproizvodi koji utječu na izvedbu. Studija pruža dublje razumijevanje razvoja umora i nudi uvid u poboljšanje metoda treninga za unapređenje sposobnosti ponavljanja sprintova.

Članak Harpera i suradnika (2022), pod nazivom "Biomechanical and Neuromuscular Performance Requirements of Horizontal Deceleration: A Review with Implications for Random Intermittent Multi-Directional Sports," objavljen u *Sports Medicine*, pregledava fizičke zahtjeve i aspekte performansi horizontalnog usporavanja. Istražuje kako biomehanički i neuromuskularni čimbenici utječu na usporavanje u sportovima s višesmjernim kretanjem i predlaže strategije treninga za poboljšanje izvedbe i smanjenje rizika od ozljeda. Rad naglašava važnost uključivanja treninga usporavanja u sportske programe.

Članak Harpera, Carlinga i Kielyja (2019), pod nazivom "High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies," objavljen u časopisu *Sports Medicine*, analizira zahtjeve visokointenzivnih ubrzanja i usporavanja u natjecateljskim utakmicama elitnih momčadskih sportova. Studija pregledava razne opservacijske studije kako bi se utvrdilo kako ti pokreti utječu na izvedbu i rizik od ozljeda, pružajući vrijedne uvide za trening i pripremu utakmica na vrhunskoj razini.

Članak Harpera i suradnika (2024), pod nazivom "The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports," objavljen u časopisu *International Journal of Strength and*

Conditioning, predstavlja okvir za poboljšanje sposobnosti horizontalnog usporavanja kod sportaša u višesmjernim sportovima. Pruža praktične preporuke za poboljšanje performansi pri kočenju, uključujući vježbe, tehnike i strategije za smanjenje rizika od ozljeda i poboljšanje atletske učinkovitosti.

Hewit, Cronin, Button i Hume (2011) u svom radu "Understanding Deceleration in Sport" istražuju važnost usporavanja u sportu i njegove ključne komponente. Autori analiziraju biomehaničke i fiziološke aspekte deceleracije, ističući kako je usporavanje jednako važno kao i ubrzavanje za uspjeh sportaša. Također, istraživanje naglašava značaj pravilne tehnike usporavanja kako bi se smanjio rizik od ozljeda i poboljšala sportska izvedba. U radu se preporučuju specifične vježbe i trenažne metode koje mogu pomoći sportašima da bolje savladaju i optimiziraju svoje sposobnosti usporavanja.

Jones, Paul, Bampouras, Theodoros i Marrin, Kelly (2009). "An Investigation into the Physical Determinants of Change of Direction Speed," objavljen u časopisu *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, istražuje fizičke čimbenike koji utječu na brzinu promjene smjera. Studija se fokusira na aspekte poput snage, agilnosti i eksplozivnosti te analizira kako ti elementi doprinose sposobnosti brzih promjena smjera kod sportaša. Nalazi pružaju korisne uvide za trenere i sportaše u optimizaciji treninga za poboljšanje te ključne vještine.

Članak Mandorina i suradnika (2024), pod nazivom "Loading or Unloading? This Is the Question! A Multi-Season Study in Professional Football Players," objavljen u časopisu *Sports*, ispituje učinke različitih opterećenja tijekom treninga kod profesionalnih nogometaša kroz nekoliko sezona. Istražuje ravnotežu između primjerenih intenziteta treninga (opterećenje) i oporavka (rasterećenje) kako bi se optimizirala izvedba i spriječile ozljede. Studija pruža vrijedne uvide u strategije treninga u elitnim nogometnim okruženjima.

Članak McBurnieja i suradnika (2022), pod nazivom "Deceleration Training in Team Sports: Another Potential 'Vaccine' for Sports-Related Injury?" objavljen u časopisu *Sports Medicine*, istražuje ulogu treninga usporavanja u smanjenju rizika od ozljeda u momčadskim sportovima. Studija naglašava važnost treniranja sportaša za učinkovito usporavanje, što bi moglo djelovati kao preventivna mjera protiv uobičajenih ozljeda. Predlaže uključivanje specifičnih vježbi usporavanja u trenažne programe kako bi se povećala sigurnost i poboljšala izvedba sportaša.

Mendez-Villanueva i sur. (2013), u studiji pod naslovom "Match Play Intensity Distribution in Youth Soccer," objavljenj u *International Journal of Sports Medicine*, proučavaju razine intenziteta koje mladi nogometaši doživljavaju tijekom utakmica. Istraživanje kategorizira raspodjelu intenziteta kako bi se bolje razumjeli fizički zahtjevi s kojima se suočavaju mladi

sportaši tijekom igre. Njihovi nalazi pružaju korisne uvide za prilagodbu odgovarajućih strategija treninga i oporavka za mlade nogometaše.

Nimphius i sur. (2016), u članku pod naslovom "Change of Direction Deficit: A More Isolated Measure of Change of Direction Performance Than Total 505 Time," objavljenom u časopisu *Journal of Strength and Conditioning Research*, istražuju koncept "deficita promjene smjera" (CODD). Studija tvrdi da je CODD točnija i izoliranija mjera sposobnosti sportaša za promjenu smjera u usporedbi s tradicionalnim testom 505, koji može povezati brzinu sprinta s vještinom promjene smjera. Njihovi nalazi pomažu u preciznijoj evaluaciji performansi sportaša.

Nimphius i sur. (2018), u članku pod nazivom "Change of Direction and Agility Tests: Challenging Our Current Measures of Performance," objavljenom u časopisu *Strength and Conditioning Journal*, analiziraju učinkovitost postojećih testova za procjenu promjene smjera (COD) i agilnosti kod sportaša. Oni tvrde da trenutni testovi možda ne prikazuju u potpunosti stvarne sposobnosti sportaša u ovim područjima, te sugeriraju potrebu za poboljšanim metodama evaluacije. Članak potiče preispitivanje tradicionalnih mjernih sustava kako bi se bolje odrazila složenost ovih pokreta u sportu.

Jones i Bampouras (2010), u svojoj studiji pod naslovom "A Comparison of Isokinetic and Functional Methods of Assessing Bilateral Strength Imbalance," objavljenom u časopisu *Journal of Strength and Conditioning Research*, uspoređuju dvije metode procjene neravnoteže snage između udova: izokinetičke i funkcionalne procjene. Studija istražuje kako se ove metode razlikuju u otkrivanju razlika u snazi, što je važno za prevenciju ozljeda i poboljšanje performansi. Njihovi nalazi pružaju uvid u najučinkovitije načine mjerenja i rješavanja bilateralnih neravnoteža snage kod sportaša.

Piechota i Majorezyk (2023), u članku pod nazivom "Decision-Making Time and Neuromuscular Coordination in Youth and Senior Soccer Goalkeepers," objavljenom u časopisu *Sensors*, analiziraju razlike u vremenu reakcije i neuromuskularnoj koordinaciji između uzrasta seniora i mladih nogometnih vratara. Studija koristi senzorsku tehnologiju za procjenu donošenja odluka i motoričke koordinacije u uvjetima sličnim igri. Rezultati pružaju uvid u to kako se vještine vratara razvijaju s dobi i iskustvom, te ukazuju na prilagodbu trenažnih metoda za različite dobne skupine.

Russell i sur. (2016), u članku pod nazivom "Promjene u sposobnosti ubrzavanja i usporavanja tijekom profesionalnih nogometnih utakmica," objavljenom u *Journal of Strength and Conditioning Research*, istražuju kako sposobnosti ubrzanja i usporavanja variraju tijekom

profesionalnih nogometnih utakmica. Studija procjenjuje opadanje tih sposobnosti tijekom igre, naglašavajući utjecaj umora na tjelesnu izvedbu igrača. Rezultati sugeriraju da je održavanje visokih razina ubrzanja i usporavanja ključno za optimalnu izvedbu te daju smjernice za prilagodbu trenažnih strategija.

Silva, Nakamura, Beato i Marcelino (2022), u članku "Zahtjevi ubrzanja i usporavanja tijekom nogometnih treninga: Sustavni pregled", objavljenom u *Science and Medicine in Football*, analiziraju zahtjeve ubrzanja i usporavanja tijekom nogometnih treninga. Studija sustavno ispituje važnost ovih visokointenzivnih pokreta za nogometne performanse i njihovu ulogu u pripremi za utakmice. Nalazi naglašavaju važnost uvođenja specifičnih vježbi koje se fokusiraju na ove zahtjeve kako bi se poboljšala izvedba igrača i smanjio rizik od ozljeda.

Spencer i sur. (2005), u članku pod naslovom "Fiziološki i metabolički odgovori na aktivnosti ponovljenih sprintova," objavljenom u časopisu *Sports Medicine*, proučavaju fiziološke i metaboličke zahtjeve aktivnosti ponovljenih sprintova, koje su česte u sportu. Studija analizira doprinos energetske sustava, mehanizme umora i nakupljanje metaboličkih nusproizvoda tijekom kratkih, intenzivnih sprintova. Nalazi pružaju uvid u to kako tijelo reagira na ponavljane visoko intenzivne napore, s praktičnim primjenama za poboljšanje metoda treninga i izvedbe u sportovima koji zahtijevaju ponovljene sprintove.

Vigh-Larsen, Dalgas, i Andersen (2018), u članku pod naslovom "Position-Specific Acceleration and Deceleration Profiles in Elite Youth and Senior Soccer Players," objavljenom u *Journal of Strength and Conditioning Research*, istražuju specifične profile ubrzanja i usporavanja za različite pozicije igrača u elitnom nogometu. Studija analizira kako se ovi profili razlikuju između igrača mlađeg i seniorskog uzrasta, pružajući važne informacije za optimizaciju treninga i poboljšanje performansi u nogometu.

Zemková i Hamar (2014), u svom članku "Agility performance in athletes of different sport specializations," objavljenom u *Acta Gymnica*, istražuju agilnost kod sportaša različitih sportskih specijalizacija. Studija analizira kako se performanse agilnosti razlikuju među sportašima iz različitih sportova, pružajući važne uvide za razvoj specifičnih trenažnih programa. Rezultati sugeriraju da različite sportske discipline zahtijevaju različite aspekte agilnosti, što može utjecati na pristupe treningu i evaluaciju sportskih performansi.

## 2. Biomehanički zahtjevi deceleracije

### 2.1. Kinetički i kinematički zahtjevi deceleracije



Hewit i suradnici (2011.) navode kako su kinematičke karakteristike prisutne prilikom ubrzavanja i usporavanja slične, pri čemu je primarna razlika u položaju udova u odnosu na centar mase tijela (COM). Cilj usporavanja tijekom kretanja po tlu je smanjiti inerciju tijela ( $\text{masa} \times \text{brzina}$ ) primjenom što veće sile u što kraćem vremenu kako bi se omogućilo potpuno zaustavljanje ili promjena smjera kretanja ( $\text{sila} \times \text{vrijeme} = \text{masa} \times \text{brzina}$ ).

Pravilni kutovi zglobova i napetost mišića prije kontakta s tlom ključni su za otpor prema



Slika 3. Razlike u položaju tijela tokom kontakta s podlogom prilikom ubrzavanja i usporavanja (Hewit i sur., 2011. *Understanding Deceleration in Sport.*). *Strenght & Conditioning Journal*, 47-52. <http://dx.doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181fbd62c>

naprijed. Kinematika nogu igra ključnu ulogu u usporavanju zbog njihove uloge kao početnog mehanizma apsorpcije sile s podloge. Iako se brzo usporavanje idealno događa tijekom što manjeg broja koraka, koristi se nekoliko skraćenih ciklusa hoda kako bi se tijelo sigurno usporilo apsorbirajući visoke ekscentrične sile uz što manje opterećenje zglobova. Stoga se prilikom brzog usporavanja obično primjećuju veće sile kočenja i duža vremena kontakta s tlom (Hewit i sur., 2011.).

Hewit i suradnici (2011.) su naveli da se sila može primijeniti ili generirati samo dok je stopalo u kontaktu s tlom, vrijeme u zraku kod noge koja nije u kontaktu tijekom usporavanja je ograničeno kako bi se omogućilo produljeno vrijeme na tlu. U usporedbi s fazom ubrzanja, kontakt noge s tlom tijekom faze usporavanja događa se ispred centra mase tijela (velika udaljenost pri doskoku - vodoravna udaljenost kojom prednja noga prelazi ispred centra mase tijela kada stopalo dotakne tlo), pružajući otpor prema naprijed inerciji tijela. To se postiže

fleksijom kuka (do kuta sličnog onom tijekom faze maksimalne brzine) dok koljeno ide u ekstenziju i gležanj plantarno savija.

Kako bi kontakt s tlom trajao što dulje, stopalo u početnoj fazi dodiruje podlogu petom, stvarajući vodoravnu silu kočenja, a zatim se brzo prebacuje na prednji dio stopala, stvarajući potpuni kontakt stopala s tlom. Ovaj pokret je u suprotnosti s fazom ubrzanja gdje prednji dio stopala prvi dolazi u kontakt s podlogom, održavajući povišenu petu tijekom faze oslonca (tj. minimiziranje sila kočenja i maksimiziranje pogonskih sila). Podupiruća noga tijekom faze ubrzanja ostaje u kontaktu s tlom sve dok tibija ne prijeđe ispred vertikalne osi gležnja, omogućujući nogama da apsorbiraju veću količinu negativnog rada (sila  $\times$  pomak) (Hewit i sur., 2011.). Položaj tijela u fazi usporavanja se prilagođava kako bi se omogućilo apsorbiranje i raspoređivanje značajnih ekscentričnih sila kroz cijelo tijelo. Kako bi se usporilo kretanje centra mase tijela prema naprijed, nekoliko segmenata tijela se prilagođava u usporedbi s fazom ubrzanja. Nagib naprijed prisutan u fazi ubrzanja, koji omogućuje pozicioniranje tijela za veće horizontalne pogonske sile, nije vidljiv u fazi usporavanja jer se inercija tijela mora smanjiti. Trup zauzima uspravniji položaj (u odnosu na donji dio tijela) i nagib prema natrag tijekom usporavanja, pomičući centar mase unazad u odnosu na oslonac, što rezultira dodatnim horizontalnim silama kočenja (Slika 3). Pri doskoku dolazi do neposredne fleksije kuka i koljena te dorzifleksije gležnja, čime se udarne sile raspoređuju kroz više zglobova. Takvo kretanje smanjuje veličinu stresa omogućujući mišićima da obavljaju veći negativni rad, odnosno primjenu sila kroz veći ekscentrični raspon pokreta (Hewit i sur., 2011.).

Iako je pokret ruku tijekom faze ubrzanja brz i velikog opsega u sagitalnoj ravnini kako bi se suprotstavio snažnom pokretu nogu, tijekom faze usporavanja brzina pokreta ruku se smanjuje kako bi se uskladila s produženom fazom oslonca. Opušten položaj ramena i 90° fleksije u laktovima, uočeni tijekom faza ubrzanja i maksimalne brzine, razlikuju se u fazi usporavanja gdje se može primijetiti povećana abdukcija ramena (Andrews JR i sur., 1977.).

U ovom smo poglavlju došli do zaključka da su procesi ubrzanja i usporavanja slični, ali ključna razlika leži u položaju udova u odnosu na centar mase tijela. Usporavanje zahtijeva primjenu velike sile u kratkom vremenskom razdoblju kako bi se smanjila inercija tijela i omogućila promjena smjera ili zaustavljanje. Ključni elementi su pravilna biomehanika, uključujući položaj tijela, fleksiju zglobova i koordinaciju udova, kako bi se apsorbirale ekscentrične sile i minimiziralo opterećenje zglobova.

## 2.2. Uloga mišićno – koštanog sustava

Jedinstvena karakteristika izvođenja horizontalnih usporavanja je da se za smanjenje inercije naglasak stavlja na aktivno produljenje mišića kroz kočenje i raspoređivanje mehaničke energije, što se možda smatra nužnim. Mišićne kontrakcije uključene u ove vrste pokreta obično se klasificiraju kao "ekscentrične", a svaka vrsta kontrakcije (npr. koncentrična, izometrijska i ekscentrična) uključuje različite mehanizme generiranja sile na razini kontraktilnih proteina. U usporedbi s koncentričnim i izometrijskim mišićnim akcijama, ekscentrične mišićne akcije imaju potencijal generirati veće sile pri zadanoj kutnoj brzini. Nadalje, ekscentrične mišićne akcije su metabolički učinkovitije, zahtijevajući manje aktivacije motoričkih jedinica i potrošnje kisika za zadanu mišićnu silu. U kretanju, široko prihvaćena pretpostavka je da se ova učinkovitost može objasniti recikliranjem kinetičke energije u elastičnu povratnu energiju iz tetiva u mišićna vlakna tijekom oslonca udova, što rezultira manjim mehaničkim radom i potrebnom energijom tijekom pokreta. Međutim, tijekom usporavanja, mišićno tetivna jedinica (MTU) može djelovati drugačije ovisno o arhitekturi mišića, što može utjecati na stupanj ekscentrične mišićne akcije. Na primjer, posebno u distalnim mišićnim skupinama s dugim tetivama (npr. kompleks gastroknemiusa, ahilove tetive i soleusa), ovi mišići se mogu zapravo skratiti kako bi omogućili tetivi da pohrani, amortizira i smanji kinetički unos energije u mišić. Nasuprot tome, u proksimalnijem mišićnom sustavu (npr. kvadriceps), uloga aktivnog produljenja i recikliranja energije kroz mišiće može biti veća zbog kraćih tetiva (A.J. McBurnie i sur., 2021.).

Zaključno treba istaknuti važnost ekscentričnih mišićnih kontrakcija u procesu horizontalnog usporavanja, koje omogućuju učinkovito smanjenje inercije kroz kočenje i raspoređivanje energije. Ekscentrične akcije su metabolički učinkovitije od koncentričnih, generiraju veće sile uz manji trošak energije. Arhitektura mišića, posebno u distalnim mišićnim skupinama poput gastroknemiusa, omogućuje tetivama da pohranjuju energiju i smanjuju njen unos u mišić, dok u proksimalnim mišićima, poput kvadricepsa, aktivno produljenje i recikliranje energije igraju veću ulogu.

## 2.3. Profili sile reakcije tla

A.J. McBurnie i suradnici (2021.) izvijestili su da je tijekom horizontalnog usporavanja potreban visok stupanj prethodne aktivacije mišića kako bi se učinkovito podržale velike vanjske sile koje se generiraju pri kontaktu s tlom. Nadalje, tijekom usporavanja u srednjoj fazi ekscentrične faze udara stopala, zabilježene su vršne razine aktivacije kvadricepsa koje su

znatno veće od onih opaženih tijekom maksimalne voljne izometrijske kontrakcije ( $161 \pm 69\%$ ). Konkretno, visoke razine aktivacije mogu olakšati proizvodnju visokih unutarnjih mišićnih sila u skraćenim vremenskim okvirima, čime se omogućuje stvaranje potrebnog vanjskog kočionog impulsa za smanjenje inercije u horizontalnoj kretnji. Iako također ovisi o duljini mišića i brzini skraćivanja, visoke vršne razine aktivacije su nužne za proizvodnju visokih unutarnjih ekstenzorskih momenata koljena koji su potrebni za sigurno kontroliranje i smanjenje sila tijekom fleksije koljenskog zgloba koja se izvodi pri visokim kutnim brzinama. Osim toga, suboptimalni položaji (npr. fleksija trupa), u kombinaciji sa smanjenom aktivacijom mišića stražnjeg dijela natkoljenice (hamstringsa) tijekom zadataka usporavanja (tj.  $-87 \pm 84\%$  vršne aktivacije kvadricepsa) mogu povećati rizik od prednje dislokacije tibije, čime se povećava rizik od ozljede prednjeg križnog ligamenta (ACL).

Također je sugerirano da jedinstvena svojstva tetiva (tj. serijske elastične komponente) unutar mišićno tetivne jedinice (MTU) igraju ključnu ulogu u apsorpciji mehaničke energije tijekom akcija usporavanja (npr. doskok nakon skoka, trčanje nizbrdo, prisilno zaustavljanje). Čini se da tetive mogu djelovati kao "mehanički amortizeri" smanjujući brzinu aktivnog produljenja mišićnih fascikula i mehanički stres na mišićne fascikule. Udarca sila koja proizlazi iz udarca stopala u podlogu pokazala se povećanom tijekom intenzivnih kočionih manevara (npr. brzo smanjenje inercije centra mase unutar kratkih zaustavnih udaljenosti) i s povećanjem visine skoka. Čini se da, bez obzira na ovo povećanje intenziteta, tetivno tkivo i dalje izdržava većinu opterećenja mišićno tetivne jedinice (MTU) dok globalno produljenje fascikula ostaje nepromijenjeno. Međutim, kao što je već spomenuto, to može ovisiti o mišiću u pitanju, pri čemu se čini da je veća potreba za aktivnim produljenjem prisutna u mišiću natkoljenice (vastus lateralis) nego u mišiću potkoljenice (gastrocnemius medialis). Stoga, posebno u proksimalnijoj muskulaturi, uloga brze prethodne aktivacije i izometrijske kontrakcije mišića u pripremi za kontakt s tlom također ostaje ključna, omogućujući veći potencijal zbog većih kutova tijekom primjene sile. Nadalje, pokazalo se da je povećana i brza aktivacija mišića tijekom usporavanja ključna za smanjenje potencijalnog opterećenja ligamenta koljena tijekom zadataka promjene smjera. Kombinirana funkcija sposobnosti brze prethodne aktivacije i mehanički robusne tetive koje djeluju kao "elastični amortizeri" igraju ključnu ulogu u reguliranju visokih ekscentričnih sila koje se javljaju unutar mišićno-koštanog sustava tijekom visoko intenzivnih usporavanja i zaštiti od ozljeda (A.J. McBurnie i sur., 2021.).

U ovom poglavlju naglašena je ključna uloga visoke prethodne aktivacije mišića i elastičnih svojstava tetiva u procesu horizontalnog usporavanja. Ekscentrične mišićne kontrakcije

omogućuju proizvodnju velikih sila unutar kratkih vremenskih intervala, što je ključno za učinkovito smanjenje inercije i osiguranje stabilnosti pri naglim zaustavljanjima. Važnost tetiva kao "amortizera" ističe se u smanjenju opterećenja mišića i zaštiti zglobova, posebno koljena, od ozljeda. Ova kombinacija brzih mišićnih reakcija i elastičnih svojstava štiti od prekomjernih opterećenja pri visokointenzivnim usporavanjima.

### 3. Fiziološke determinante deceleracije

#### 3.1. Metabolički i energetske zahtjevi

Deceleraciju u kontekstu metaboličkih i energetskih zahtjeva u većini slučajeva svrstavamo u sposobnost ponavljanja sprintova upravo iz razloga što izaziva takav utjecaj na energetske i metabolički sustav.

Sposobnost ponavljanja sprintova (SPS) odnosi se na sposobnost izvođenja više kratkih sprintova (kraćih od 10 sekundi) s kratkim periodima odmora između ponavljanja (ne dužim od 60 sekundi) (Girard i sur., 2011.).

Čimbenici koji utječu na SPS mogu se generalno podijeliti na mišićne i živčane (Girard i sur., 2011.). Jedan od čimbenika koji vjerojatno utječe na kvalitetu SPS-a je mišićna ekscitabilnost, koja se očituje smanjenjem aktivnosti Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> pumpe. Pad aktivnosti ove pumpe dovodi do smanjenja snage mišićne kontrakcije, što može negativno utjecati na sprinterske performanse tijekom ponavljanja sprintova (Girard i sur., 2011.). Posebno važan mišićni čimbenik koji utječe na SPS jest opskrba energijom tijekom izvođenja aktivnosti ponavljanja sprintova (Girard i sur., 2011.). Udio kreatin-fosfatnih energetskih izvora u pojedinačnom sprintu u trajanju od 3 sekunde iznosi oko 55% (Spencer i sur., 2005.), a njegov relativni udio u ponavljanim sprintovima se povećava (Girard i sur., 2011.) što sugerira veliku zastupljenost fosfatnih energetskih resursa u aktivnostima ponavljanja sprintova kao i važnost resinteze kreatin fosfata (CrP) tijekom perioda opravka između ponavljanja.

Također je vrlo važno naglasiti da sportaši pri aktivnosti ponavljanja sprintova često dosežu svoj VO<sub>2</sub>max, pa osobe sa većim VO<sub>2</sub>max mogu održavati veću snagu, odnosno veću brzinu kretanja kroz veći broj ponavljanja. Udio metabolizma anaerobne glikolize je relativno velik pri pojedinačnom sprintu (oko 32-40%), dok se njegov udio smanjuje pri ponavljanju sprintova te u desetom sprintu u trajanju od 6 sekundi može iznositi tek 9% (Girard i sur., 2011.).

Važno je napomenuti da ukupni udjeli energetskeg metabolizama ovise o metodičkim parametrima testova za procjenu SPS-a i kondicijskom statusu sportaša (Bok, Daniel; Jukić. Igor, 2013.).

Ovo poglavlje ističe da je deceleracija usko povezana s ponavljanim sprintovima zbog visokih metaboličkih i energetskeg zahtjeva. Sposobnost ponavljanja sprintova (SPS) ovisi o mišićnim i živčanim čimbenicima, kao što je mišićna ekscitabilnost i dostupnost fosfatnih energetskeg izvora, osobito kreatin-fosfata. Anaerobna glikoliza igra značajnu ulogu u prvim sprintovima, ali se njena važnost smanjuje kroz ponavljanja. Također, sportaši s većim VO<sub>2</sub>max mogu zadržati višu razinu performansi kroz više sprintova, ističući važnost aerobnih kapaciteta u ponavljanim aktivnostima.

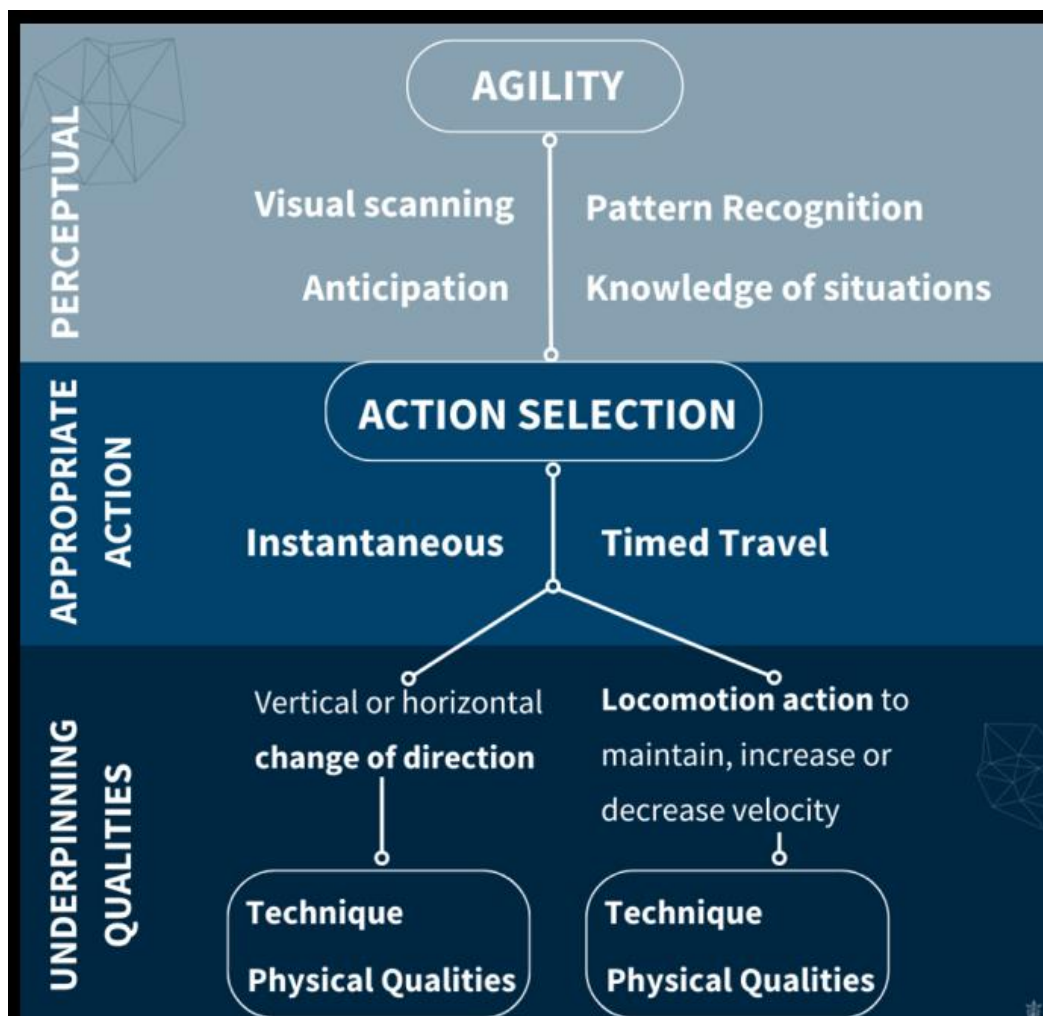
### 3.2. Neuralni mehanizmi i njihova uloga

Neuralni mehanizmi koji se aktiviraju tokom deceleracije trebaju biti promatrani u kontekstu višesmjernne brzine (MDS) koja je definirana kao sposobnost i kapacitet za ubrzavanje, usporavanje, promjenu smjera i održavanje brzine u više smjerova i pokreta, u kontekstu sportskih specifičnih scenarija (McBurnie i sur., 2021). Nadalje sposobnost ili brzina promjene smjera (COD) definira se kao "sposobnost usporavanja, okretanja ili promjene smjera kretanja i ponovnog ubrzanja" (Jones i sur., 2009.), sposobnost održavanja brzine tijekom promjene smjera bez jasnog "oslonca" (npr. zakrivljena putanja kretanja) ili sposobnost izvođenja ili promjene načina kretanja u prijelaznim pokretima (npr. bočno kretanje ili povlačenje unatrag) može se nazvati manevriranjem (DeWeese B. H. i Nimphius S., 2016.).

Kretanje i trenutne radnje ovise o tehničkim i fizičkim čimbenicima specifičnim za svaku aktivnost. U razvoju agilnosti, uz naglasak na usavršavanje perceptivno-kognitivnih sposobnosti (npr. poboljšanje misaonih procesa), ključno je osigurati učinkovito i efikasno izvođenje trenutnih i lokomotornih pokreta (npr. brže kretanje sportaša), što zahtijeva istodobni tehnički i fizički razvoj. Motoričke sposobnosti koje su usko vezane s takvim kretanjama su agilnost i koordinacija (Slika 4). Nedavno je agilnost definirana kao „*brzo kretanje cijelog tijela s promjenom brzine ili smjera kretanja kao odgovor na podražaj*“ (Zemková i Hamar, 2014.). U sportovima poput nogometa, sposobnost sportaša da koriste informacije iz okoline kako bi učinkovito izveli akcije temelji se na točnom i učinkovitom odnosu između

perceptivno-kognitivnih čimbenika i motoričkih procesa. Stoga trening agilnosti zahtijeva perceptivni i proces brzog donošenja odluka kao odgovor na podražaj, pri čemu će se ishod manifestirati u oblicima poput ubrzavanja, usporavanja, promjene smjera kretanja i održavanje brzine u više smjerova i pokreta (McBurnie i sur., 2021).

Piechota K. i Majorczyk E., (2023.) naveli su u svom istraživanju da faze obrade informacija uključuju prepoznavanje/procjenu pozicije protivnika i odgovarajući odabir senzomotoričkih odgovora. Svaki prvotno oblikovani odgovor u motoričkim područjima moždane kore



Slika 4. Determinante agilnosti(Assessing Change of Direction Qualities in the Field, Paul Jones, 2023). <https://sciofmultispeed.com/>

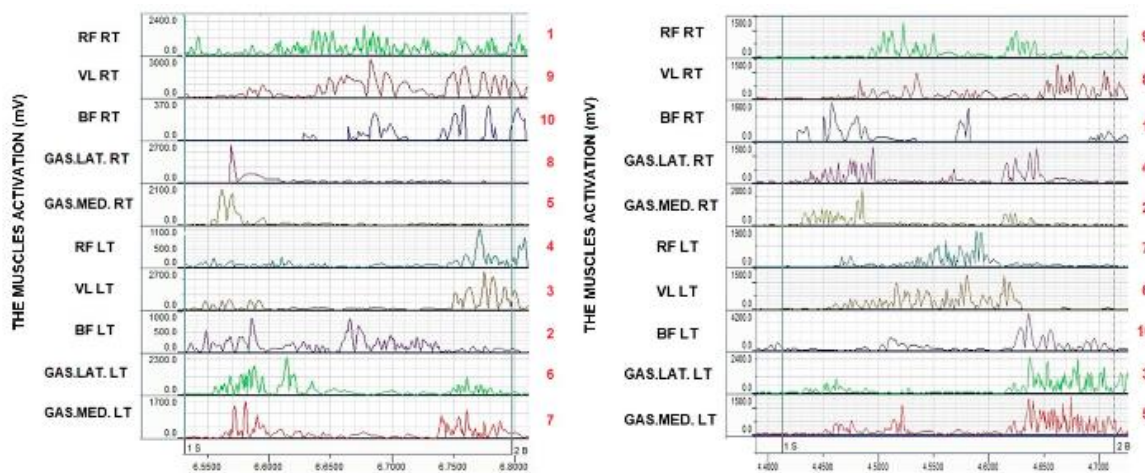
programiran je u smislu kontrole i regulacije u središnjem živčanom sustavu. Kontrola živčanog sustava omogućuje razvoj modela psihomotoričkog odgovora, koji je usko povezan s mehanizmima percepcije i procesima donošenja odluka. Završnim odgovorom, nogometaš obično prima ekstrinzičnu biološku povratnu informaciju (okoliš i vremenski raspored zadatka) ili intrinzičnu povratnu informaciju (pogreška ili pravilna izvedba i rad mišića).

Model formiranja senzomotornog odgovora predstavlja temelj koncepta motoričke kontrole. Središte ovog modela je opis informacijskih procesa, uključujući raspon perceptivnih mehanizama u slobodnim motoričkim aktivnostima. Ovaj koncept kontrole ljudskih motoričkih aktivnosti proširio je Zbigniew Czajkowski stavljajući u prvi plan psihomotorni odgovor s pripremnim razdobljem (razdoblje prije stimulusa). Prema Czajkowskiom, učinkovitost akcija sportaša proizlazi iz napredovanja mentalnih procesa kao što su fokus, koncentracija i podijeljena pažnja, te u konačnoj fazi donošenje optimalnih odluka. Ovaj nam mehanizam zatim omogućuje aktivaciju ispravnog motoričkog programa (pohranjenog u motoričkoj memoriji) u anticipaciji očekivanog podražaja (Piechota K. i Majorczyk E., 2023).

Ovo poglavlje ističe važnost neuralnih mehanizama u višesmjernoj brzini (MDS) i promjeni smjera (COD), koji su ključni za sportsku izvedbu. Efikasnost ovih pokreta zahtijeva integraciju percepcije, motoričke kontrole i donošenja odluka, omogućujući brzu prilagodbu sportaša na podražaje. Kognitivni procesi poput fokusiranja i odlučivanja podržavaju optimalne motoričke reakcije, dok pravilna priprema živčanog sustava omogućuje pravovremenu aktivaciju motoričkih programa. Sve to doprinosi poboljšanju performansi sportaša u dinamičnim sportskim situacijama.

### 3.3. Neuromuskularni procesi i njihova uloga

U obradi neuromuskularnih procesa deceleracije moramo promatrati učinkovitost ekscentrične jakosti mišića, reaktivnu jakost mišića, snagu i dinamičku ravnotežu (Harper DJ i sur., 2022).



Slika 5. Vremenske razlike u aktivaciji mišića u sekvenciji pokreta između golmana seniorskog (a) i mlađih uzrasta (b). Piechota K. i Majorczyk E. (2023). Decision-Making Time and Neuromuscular Coordination in Youth and Senior Soccer Goalkeepers. *Sensors*, 4483. doi.org/10.3390/s23094483



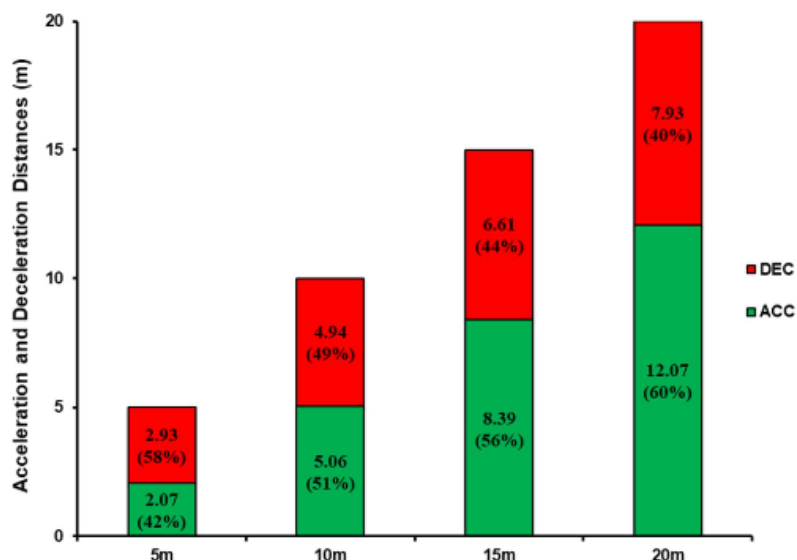
Elektromiograf (EMG) (Slika 5), omogućuje praćenje bioelektrične aktivnosti mišića, što osigurava pravilno izvođenje pokreta te utječe na učinkovitost napora i neuromuskularnu koordinaciju (Piechota K. i Majorczyk E., 2023).

Piechota K. i Majorczyk E., (2023.) navode kako se ekonomičnost pokreta u kontekstu EMG-a obično odnosi na skraćivanje vremena reakcije, smanjenje trajanja izvođenja cjelokupne sekvencije pokreta te smanjenje mišićne aktivnosti ili broja uključenih motoričkih jedinica unutar određenog opsega pokreta. Kada uspoređujemo profesionalne sportaše s početnicima, kraće vrijeme motoričke akcije može ukazivati na bolju neuromuskularnu koordinaciju i precizniju usmjerenost pažnje prilikom donošenja brzih odluka (Slika 5). EMG pruža vrijedne podatke o neuromuskularnim odgovorima u vezi s neurofiziološkim mehanizmima obrade informacija tijekom različitih motoričkih aktivnosti.

Važnost ekscentrične mišićne jakosti je dokazana u više znanstvenih radova o promjenama smjera kretanja kao ključan faktor za bolju izvedbu horizontalnog zaustavljanja kao i za prevenciju od mišićnih ozljeda. Usporedba igrača s visokom i niskom ekscentričnom snagom kvadricepsa pokazala je da oni s superiornom ekscentričnom snagom imaju znatno veću sposobnost generiranja horizontalne sile kočenja. Posljedično su igrači sa većom ekscentričnom snagom bili u mogućnosti usporiti sa većih brzina te brže obaviti promjenu smjera kretanja zbog bolje sposobnosti kontrole i apsorpcije sila. Nadalje u studiji provedenoj od Grahama i sur. veća ekscentrična jakost kvadricepsa i stražnje lože (hamstring) pridonijela je boljoj izvedbi horizontalne deceleracije, mjereno deceleracijskim gradijentom koji predstavlja indikator koliko igrač može usporiti po dužnom metru. Ista studija je također istaknula značajne udaljenosti u aktivnostima sprint to stop koje su karakteristične za sportaše tokom utakmica. Udaljenosti usporavanja varirale su između 2,39m i 7,93m za zadane sprint to stop zadatke od 5m do 20m (Slika 6). Ekscentrična vršna sila i stopa razvoja sile horizontalnog usporavanja, koje su mjerene tijekom skoka iz čučnja s pripremom (CMJ), također su značajno veće kod igrača s visokom u usporedbi s igračima s niskom sposobnošću horizontalnog usporavanja kada se kvantificira prosječno usporavanje ( $m \cdot s^{-2}$ ) od maksimalnog horizontalnog usporavanja nakon 20 m sprinta. Za zaključiti je da se ekscentrična vršna sila i stopa razvoja sile horizontalnog usporavanja događaju u donjem položaju CMJ u trenutku prije opružanja tetive koljena, između 133–199°/s, kada pokret treba biti usporen da bi iz donje faze CMJ prešao u gornju fazu skoka. Shodno navedenome ova saznanja upućuju na važnost evaluacije i razvoja raznih ekscentričnih neuromuskularnih kvaliteta za poboljšanje

maksimalne izvedbe horizontalne deceleracije. Ubrzani ekscentrični trening se navodi kao primjer razvoja takvih neuromuskularnih sposobnosti (Harper DJ i sur., 2022).

Reaktivna jakost je najprije bila promatrana kao važna determinanta neuromuskularne sposobnosti u vještini horizontalne deceleracije. Iako samo je jedna studija provedena od Harpera i sur. koja je istražila vezu između te dvije sposobnosti kroz reaktivni index jakosti



Slika 6. Udaljenost provedena u ubrzavanju (ACC) i usporavanju (DEC) tijekom različitih testova udaljenosti od sprinta do zaustavljanja (postotak vremena prikazan je u zagradama). Harper DJ i sur. (2022). Biomechanical and Neuromuscular Performance Requirements of Horizontal Deceleration: A Review with Implications for Random Intermittent Multi-Directional Sports. Sports Medicine, 2321–2354. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01693-0>

pogotovo sa saskoka većih visina, može dati uvid u igračevu sposobnost da brzo namjesti posturu i generira veću silu kočenja tijekom prve faze deceleracije kada ima jako malo vremena za generiranje sile kočenja. Nadalje, izmjereni reaktivni indeks jakosti drop jumpa sa visina približnih 50 cm pokazao je značajno visoku korelaciju sa maksimalnim isoinertnim čučnjem pri kontroliranom stupnju spuštanja od  $\sim 30^\circ/\text{s}$ . Iako je samo jedna skupina ispitanih igrača bila uključena u prisilna usporavanja zabilježena je značajno povećana vrijednost DJ 40cm RSI-a i maksimalne isokinetičke ekscentrične jakosti stražnje lože što pridaje važnost takvom tipu treninga u razvoju ekscentrične jakosti donjih ekstremiteta (Harper DJ i sur., 2022).

saskoka (DJ). (RSI; jump height/GCT) s visine od 20cm i 40 cm. Obje visine su imale značajno veliku korelaciju sa prosječnom sposobnošću horizontalne deceleracije, isto tako vrijedna je pažnje značajno visoka korelacija sa ranom fazom u prosječnoj sposobnosti horizontalne deceleracije (i.e.  $V_{\text{max}}$  to 50%  $V_{\text{max}}$ ), ali ne i sa kasnijom fazom horizontalne deceleracije. (i.e. 50%  $V_{\text{max}}$  to minimum velocity). Ovakva saznanja nam sugeriraju da veći reaktivni index jakosti (RSI),

Iako se ranije nisu smatrale determinantom sposobnosti brzog usporavanja, sposobnosti koncentrične snage također su identificirane kao potencijalno važne neuromuskularne kvalitete koje pridonose sposobnostima brzog horizontalnog usporavanja.

U studiji provedenoj Harper i sur. (2022.) navode da izokinetička koncentrična snaga kvadricepsa i stražnje lože kod oštih i brzih promjena smjera kretanja ( $180^\circ/s-1$ ) ima visoku i vrlo visoku povezanost sa udaljenosti usporavanja i vremena zaustavljanja pri čemu veće opterećenje preuzima nedominantna noga. Nadalje je izvješteno da optimalna aktivacija kvadricepsa i stražnje lože pridonosi boljoj čvrstoći i stabilnosti donjih udova (koljeno, gležanj) i tako povećava sposobnost apsorpcije, kontrole sile kočenja i promjene smjera kretanja.

Značajno povećanje izokinetičke koncentrične snage kvadricepsa lijeve noge pri ( $240^\circ/s-1$ ) također je primijećeno nakon 6 tjedana treninga brzine i agilnosti s prisilnim usporavanjem, no međutim to nije primijećeno na desnoj nozi ili u skupini igrača koji su pratili istu brzinu i program agilnosti bez prisilnih usporavanja. Zanimljivo je kako u istoj studiji nisu primijećene promjene u koncentričnoj jakosti stražnje lože pri istim brzinama ( $240^\circ/s-1$ ) već je kod igrača koji su bili podvrgnuti prisilnim deceleracijama primijećeno povećanje asimetrije u donjim ekstremitetima. Shodno tome treneri moraju biti svjesni da ukoliko se forsiraju deceleracije u treninzima sa dominantnom nogom svakako će doći do asimetričnog razvoja u donjim udovima (Harper DJ i sur., 2022).

Nadalje sposobnost za ispoljavanje veće ekscentrične sile postaje važan preduvjet za ispoljavanje jake koncentrične sile u protukretnjama odnosno promjenama smjera (strech-shortening). Za zaključiti je da veća jakost donjih udova umanjuje ekscentrično opterećenje tokom ekscentrične faze kočenja, te na takav način olakšava strategiju prigušivanja sile i posljedično dovodi do bolje učinkovitosti usporavanja (Harper DJ i sur., 2022).

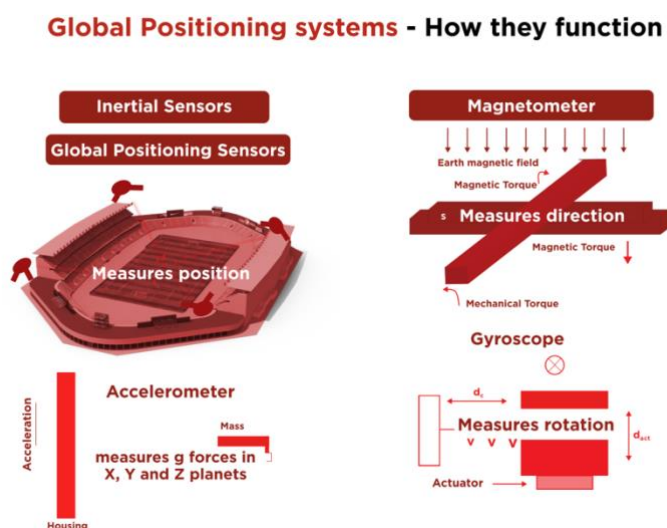
Kvaliteta 'eksplozivne' snage (tj. sposobnost brzog povećanja proizvodnje sile), kvantificirana impulsom tijekom doskoka s jednom nogom (na 25 ms) i izometrijskog povlačenja središnjeg dijela bedra (na 100 i 300 ms) na testovima usko je povezana s boljom izvedbom u zadacima s većim zahtjevima za usporavanje i kočenje. Izometrijska stopa razvoja sile plantarnih fleksora stopala se smatra jako važnom za brzo postavljanje i kontrolu posture kod visoko dinamičkih sportskih manevara odnosno kod snažnih kočenja u horizontalnoj deceleraciji. Prema tome trenažni sadržaji kojima se poboljšava stopa razvoja sile, osobito gležnja, su posebno važni za poboljšanje sposobnosti horizontalne deceleracije te kao takvi trebaju biti sastavni dio treninga (Harper DJ i sur., 2022).

Zaključno, neuromuskularni procesi deceleracije uključuju ključne faktore poput ekscentrične snage, reaktivne snage mišića, dinamičke ravnoteže i koordinacije. Ekscentrična snaga kvadricepsa i stražnje lože pokazuje snažnu povezanost s učinkovitim usporavanjem i promjenom smjera, smanjujući rizik od ozljeda. EMG analize otkrivaju kako bolje razvijena neuromuskularna koordinacija poboljšava ekonomičnost pokreta, dok trening koji cilja na ekscentričnu i reaktivnu snagu može značajno poboljšati sposobnost sportaša u horizontalnom usporavanju, što je ključno za uspjeh u sportovima koji zahtijevaju brze promjene smjera.

## 4. Deceleracija u kontekstu nogometne igre

### 4.1. Učestalost deceleracija tijekom utakmica

Deceleraciju u kontekstu nogometne igre promatramo kao kretnju i na nju gledamo kao vanjsko opterećenje. Kako bi dobili podatke o količini deceleracija u nogometnoj igri odnosno o udaljenostima pretrčanih u obliku deceleracija koristimo GPS uređaje.



Slika 7. Senzori koji se nalaze u GPS uređaju i funkcije koje imaju. „*How to Make Sense of GPS Data*”, M. Matušinskij, 2024. Ultrax.ai

(<https://www.ultrax.ai/event/auto-draft/>)

evaluaciju opterećenja na različitim pozicijama, određivanje intenziteta treninga te praćenje promjena u fiziološkim zahtjevima igrača (Cummins i sur., 2013.). Također, broj i intenzitet fizičkih kontakata i sudara sportaša s objektima ili površinama mogu se izmjeriti putem opterećenja na tijelu i udaraca. Opterećenje na tijelu, izraženo kao G-sila, obuhvaća sve sile

GPS tehnologija se sada sve više koristi u timskim sportovima kako bi sportskim znanstvenicima, trenerima i kondicijskim trenerima omogućila sveobuhvatnu i pravovremenu analizu performansi igrača na terenu tijekom natjecanja ili treninga (Cummins i sur., 2013.).

Praćenjem kretanja igrača, GPS omogućuje objektivnu procjenu razine napora i fizičkog opterećenja sportaša, analizu izvedbe tijekom natjecanja,

koje djeluju na sportaša, uključujući ubrzanje i usporavanje, promjene smjera, te udarce tijekom sudara među igračima i prilikom kontakta s tlom (kao što su udari nogom i padovi) (Cummins i sur., 2013.). Važno je napomenuti da u kontekstu deceleracija noviji 10-Hz uređaji su sposobni mjeriti najmanje značajne promjene u ubrzanju i usporavanju, dok 5-Hz uređaj to nije u mogućnosti (Cummins i sur., 2013.). Unutar GPS uređaja nalazi se accelerometar koji ima funkciju mjerenja gravitacijske sile po osima x, y i z. Magnetometar koji je osjetljiv na magnetno polje zemlje i na temelju magnetskog polja mjeri smjerove kretanja te žiroskop koji mjeri rotacije (slika 7).

Igrači tijekom utakmice moraju izvesti mnogo ubrzanja (ACC) i usporavanja (DEC), što utječe na njihovu fizičku spremu i izvedbu tijekom posljednjih minuta igre (Silva H. i sur., 2022.).

Russell i suradnici 2016. u provedenom istraživanju promatrali su deceleraciju u nogometnoj utakmici tako što su najprije podijelili vrijeme utakmice na šest intervala od 15 minuta (tj. I1: 00:00–14:59 minuta, I2: 15:00–29:59 minuta, I3: 30:00–44:59 minuta, I4: 45:00–59:59 minuta, I5: 60:00–74:59 minuta i I6: 75:00–89:59 minuta). Kako bi se osiguralo da trajanje svakog intervala bude standardizirano, podaci prikupljeni tijekom sudačke nadoknade nisu uključeni u analizu. Ukupan broj deceleracija tokom utakmice podijeljen po intervalima bio je I1 – 125, I2 – 113 deceleracija, I3 – 107 deceleracija, I4 – 106 deceleracija, I5 – 101 deceleracija i I6 – 97 deceleracija. Tokom utakmice izvedeno je ukupno 643 deceleracije te kako je vidljivo približavanjem utakmice kraju broj deceleracija se smanjivao uslijed umora igrača.

Arbitrarne zone brzine definirane su u skladu s prethodnim izvješćima za profesionalne nogometaše (Akenhead R i Nassis GP., 2016), dok su individualizirane zone brzine temeljene na kombinaciji fitness komponenti igrača (Mendez-Villanueva A i sur., 2013.). Utvrđene su četiri zone brzine za opisivanje vanjskog opterećenja (External Training Load-a): aktivnosti niske brzine (LSA; arbitrarno, <14,4 km/h; individualizirano, <80% MAS), trčanje umjerene brzine (MSR; arbitrarno, 14,4–19,8 km/h; individualizirano, 80–99,9% MAS), trčanje velike brzine (HSR; arbitrarno, 19,9–25,1 km/h; individualizirano, 100% MAS – 29% ASR) i sprintanje (arbitrarno, ≥25,2 km/h; individualizirano, ≥30% ASR – 100% MSS) (Russel i sur., 2016).

Akceleracije se promatraju u parametru ubrzanja iznad 2 m/s - ukupan broj ubrzanja u zoni iznad 2 m/s (paziti na sustav koji koristimo - provjeriti pragove i kriterije). Deceleracije se promatraju u parametru usporavanja iznad 2 m/s - ukupan broj usporavanja u zoni iznad -2 m/s (paziti na sustav koji koristimo - provjeriti pragove i kriterije). Maksimalna akceleracija i maksimalna deceleracija promatra se kao maksimalno usporavanje ili ubrzanje tijekom

događaja. Može se koristiti za praćenje tijekom vremena. Može se koristiti kao varijabla spremnosti. Vrijednosti se kreću od 3-7 m/s (Mandorino M. i sur., 2024.).

Vigh-Larsen i suradnici 2018. su u svom istraživanju promatrali deceleraciju kroz pozicije na terenu u nogometu i zaključili su da je ukupan broj akceleracija i deceleracija za sve pozicije u

1116 Journal of Strength and Conditioning Research Acceleration and Deceleration Profiles in Soccer

**TABLE 1.** Locomotor activities during games for each position, groups of players, and team average.\*

	Attackers	Central midfielders	Wide midfielders	Wide defenders	Central defenders	Wide players (WM + WD)	Central players (CM + CD + A)	Team average
<b>Accelerations (n)</b>								
First half	42 ± 4	41 ± 2	44 ± 3	43 ± 3	36 ± 3	44 ± 2	39 ± 2	41 ± 1
Second half	35 ± 4	35 ± 2	40 ± 3	44 ± 3	29 ± 3	42 ± 2	33 ± 2†	37 ± 1†
Full match	80 ± 6	81 ± 5	89 ± 5‡	91 ± 4‡	68 ± 4	90 ± 3§	76 ± 3	81 ± 2
<b>Decelerations (n)</b>								
First half	46 ± 4	43 ± 2	45 ± 3	48 ± 3	32 ± 3	47 ± 2	39 ± 2	43 ± 1
Second half	38 ± 4	37 ± 2	42 ± 3	47 ± 3	25 ± 3	45 ± 2	33 ± 2†	38 ± 1†
Full match	87 ± 8‡	83 ± 4‡	91 ± 7‡	99 ± 4  ‡	61 ± 3	96 ± 4§	75 ± 3	84 ± 3
<b>Accelerations + decelerations (n)</b>								
First half	88 ± 7	84 ± 4	89 ± 5	91 ± 5	68 ± 5	90 ± 3.7	79 ± 3	84 ± 2
Second half	73 ± 7	72 ± 4†	82 ± 5	91 ± 5	54 ± 5†	87 ± 3.7	66 ± 3†	74 ± 2†
Full match	167 ± 13	164 ± 7‡	180 ± 12‡	190 ± 8‡	129 ± 6	186 ± 7§	151 ± 5	165 ± 5
<b>High-intensity running (m)</b>								
First half	385 ± 40	403 ± 22	337 ± 30	355 ± 26	212 ± 3	347 ± 23	331 ± 19	338 ± 13
Second half	286 ± 40	317 ± 22†	352 ± 30	375 ± 26	175 ± 3	365 ± 23	260 ± 19†	301 ± 13†
Full match	693 ± 59‡	763 ± 43‡	724 ± 59‡	766 ± 38‡	398 ± 32	748 ± 33§	615 ± 39	668 ± 28
<b>Sprinting (m)</b>								
First half	74 ± 18	97 ± 10	86 ± 14	64 ± 12	40 ± 12	73 ± 9	73 ± 8	72 ± 6
Second half	57 ± 18	50 ± 10†	90 ± 14	85 ± 12	35 ± 12	87 ± 9	46 ± 8†	63 ± 6
Full match	143 ± 34	160 ± 20‡	185 ± 23‡	156 ± 17‡	77 ± 17	168 ± 14§	127 ± 13	143 ± 10
<b>Total distance (m)</b>								
First half	5,160 ± 142	5,643 ± 79	5,000 ± 106	5,284 ± 92	4,860 ± 92	5,162 ± 93	5,285 ± 74	5,190 ± 47
Second half	4,802 ± 142	5,254 ± 79†	4,777 ± 106	5,086 ± 92	4,541 ± 92†	4,953 ± 93	4,926 ± 74†	4,892 ± 47†
Full match	10,551 ± 217	11,565 ± 124  ##‡	10,352 ± 162	10,996 ± 138##‡	9,933 ± 140	10,754 ± 130	10,789 ± 157	10,776 ± 107

Slika 8. Lokomotorne aktivnosti tokom nogometne utakmice, prema poziciji, grupi igrača i momčadskom prosjeku. Vigh-Larsen i sur. (2018). Position-Specific Acceleration and Deceleration Profiles in Elite Youth and Senior Soccer Players. Journal of Strength and Conditioning Research, 1114-1122. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001918

prosijeku 165 ± 5, dok su broj akceleracija i deceleracija zasebno iznosili 81 ± 2 i 84 ± 3 (Slika 8). Uspoređujući različite igračke pozicije, sve pozicije, osim napadača, imale su značajno više akceleracija i deceleracija nego središnji braniči ( $p \leq 0.05$ ), dok su bočni braniči imali značajno više deceleracija nego središnji vezni igrači ( $p \leq 0.05$ ). Sve pozicije imale su više deceleracija od središnjih braniča; međutim, nije bilo razlike u broju akceleracija između napadača, središnjih veznih igrača i središnjih braniča, jer su samo bočni braniči i bočni vezni igrači imali veći broj tih akcija od središnjih braniča ( $p \leq 0.05$ ). Kada su igrači grupirani na bočne i središnje, bočni igrači imali su značajno veći broj akceleracija i deceleracija od središnjih igrača ( $p \leq 0.05$ ).

Ovo poglavlje ističe važnost praćenja deceleracija u nogometu putem GPS tehnologije, koja omogućuje detaljnu analizu vanjskog opterećenja igrača tijekom utakmica i treninga. GPS uređaji pružaju precizne podatke o broju deceleracija, udaljenostima pretrčanim u tim fazama igre te fizičkim zahtjevima igrača. Noviji 10-Hz GPS uređaji omogućuju mjerenje i najmanjih promjena u ubrzavanju i usporavanju, dok stariji 5-Hz uređaji nemaju tu sposobnost (Cummins

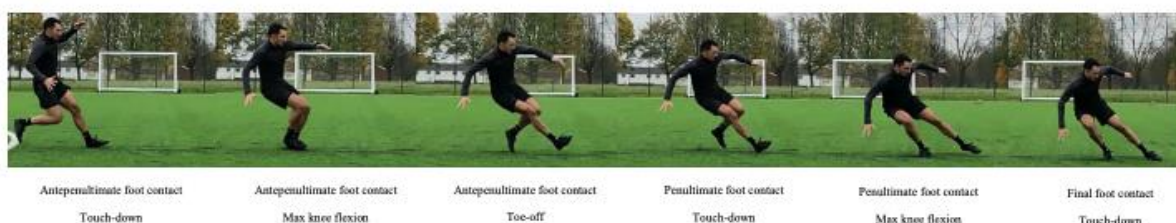
i sur., 2013.). Tijekom nogometne utakmice, igrači izvode brojne akceleracije i deceleracije, a broj tih pokreta se smanjuje prema kraju utakmice uslijed umora. U istraživanju Russella i suradnika (2016.), ukupan broj deceleracija tijekom utakmice bio je 643, s trendom opadanja prema kasnijim fazama igre. Također, razlike u broju deceleracija i akceleracija mogu se vidjeti među različitim pozicijama na terenu, pri čemu bočni igrači izvode značajno više tih pokreta u usporedbi sa središnjim igračima (Vigh-Larsen i sur., 2018.). Praćenje tih promjena ima važnu ulogu u razumijevanju fizičkih opterećenja u nogometu te može pomoći u planiranju treninga, procjeni spremnosti igrača i smanjenju rizika od ozljeda povezanih s ponovljenim ekscentričnim opterećenjima (Russell i sur., 2016.; Mandorino i sur., 2024.).

#### 4.1. Deceleracija kao faktor prevencije ozljeda

Akcije usporavanja igraju ključnu ulogu u smanjenju inercije cijelog tijela, osobito pri trčanju velikom brzinom i tijekom izvođenja naglih promjena smjera pod oštrim kutovima. Međutim, takve akcije identificirane su kao mehanizam beskontaktno ozljede prednjeg križnog ligamenta koljena (ACL), zbog njihove sklonosti generiranju visokog opterećenja koljenskog zgloba u više ravnina (tj. fleksija koljena, rotacijski i abdukcijski pokreti) dok je stopalo u kontaktu s podlogom. Tijekom utakmice, to se obično događa kada je pažnja usmjerena na situacije u igri (npr. nepredviđeni manevri promjene smjera) i kada su protivnički igrači u neposrednoj blizini. Ovi aspekti mogu povećati potencijalno opasno opterećenje koljenskog zgloba zbog povećane složenosti zadatka i vremenskih ograničenja koja su nametnuta tijekom scenarija igre. Posebno, zbog smanjenog vremena za pripremne posturalne prilagodbe cijelog tijela, povećano opterećenje koljena tijekom neplaniranih akcija može biti nesrazmjerno veće od aktivacije mišića potrebne za kompenzaciju usvajanja potencijalno rizične kinematike u frontalnoj i transverzalnoj ravnini (npr. povećana lateralna fleksija trupa i neadekvatan položaj središta mase) (A.J. McBurnie i sur., 2021.).

Nadalje kako je priroda takve kretnje višekoračna odnosno takva akcija zahtjeva preliminarno usporavanje kao ključnu strategiju za smanjenje inercije i naknadnog opterećenja koljenskog zgloba tijekom posljednjeg kontakta stopala pri promjeni smjera može se smatrati promjenjivim čimbenikom rizika za smanjenje ozljeda prednjeg križnog ligamenta (ACL). Ključna karakteristika ove faze usporavanja su veće vrijednosti horizontalnih kočionih sila pri preposljednjem i predzadnjem kontaktu stopala u odnosu na posljednji kontakt stopala, uz

veće amplitude fleksije koljena, što može smanjiti naknadno mehaničko opterećenje koljenskog zgloba. Tehnički gledano, to se postiže: (1) održavanjem niskog centra mase tijela (COM) i prednjim postavljanjem stopala kako bi se baza potpore pomaknula u odnosu na COM, čime se povećava posteriorni kočioni impuls, (2) 'kočenjem' ranije i kroz više kontakata stopala radi raspodjele opterećenja, te (3) vizualnim pregledom i situacijskom svjesnošću za poboljšanje anticipacije i povećanje vremena pripreme kako bi se olakšale posturalne



Slika 9. Sekvenca fotografija ključnih prostornih i vremenskih značajki tijekom unaprijed planiranog manevra promjene smjera (COD) s pivotiranjem. Koraci koji prethode konačnom ukopavanju stopala u COD-u igraju ključnu ulogu u usporavanju centra mase tijela, omogućujući kasnije odgurivanje u novom željenom smjeru. To ne samo da olakšava učinkovitu izvedbu promjene smjera, već i smanjuje opterećenje koljenskog zgloba u više ravnina tijekom završnog kontakta stopala. Nadalje, kod neplaniranih COD-ova, smanjeno vrijeme za izvođenje pripremnih posturalnih prilagodbi cijelog tijela može doprinijeti lošijoj kinetici i kinematici u frontalnoj i transverzalnoj ravnini, čime se povećava rizik od opasnog opterećenja koljenskog zgloba tijekom završnog kontakta stopala s podlogom. A.J. McBurnie i sur. (2022.). „Deceleration Training in Team Sports: Another Potential ‘Vaccine’ for Sports-Related Injury?“ Sports Medicine, 1-12. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001918 prilagodbe i moderirala brzina prilaza (slika 9) (A.J. McBurnie i sur., 2021.).

Intenzivna usporavanja mogu uzrokovati oštećenja mišića, što se manifestira povišenim razinama kreatin kinaze u krvi (CK; indirektni biomarker oštećenja mišića) tijekom 72-satnog razdoblja nakon ponovljenih sprintova s intenzivnim usporavanjima. To će dodatno smanjiti koordinativnu vještinu kretanja, što će dovesti do daljnjeg oštećenja tkiva i povećanog rizika od ozljeda, što bi moglo negativno utjecati na sposobnost pojedinca da vješto rasporedi opterećenja pri kočenju. (A.J. McBurnie i sur., 2021.).

Pokazalo se da je smanjenje razine CK i s njom povezanih oštećenja u neuromuskularnoj izvedbi moguće kada su igrači navikli na intenzivna usporavanja. Zaštitne prilagodbe nakon jedne serije ekscentričnih vježbi mogu značajno ublažiti štetne učinke kasnijih ekscentričnih serija (tzv. „efekt ponovljene serije“). To se prvenstveno može pripisati razvoju sarkomera u



seriji i boljoj raspodjeli naprezanja preko sarkomera. Ovi se elementi mogu brzo razviti i razlikuju se između treniranih i netreniranih osoba. To se također može objasniti „finim podešavanjem” neuralnih aktivacijskih obrazaca koji poboljšavaju zaštitni učinak elastičnosti tetiva. (A.J. McBurnie i sur., 2021.).

Ozljede povezane s usporavanjem mogu se manifestirati kroz dugoročni razvoj, pri čemu je prisutna kronična neravnoteža između oštećenja i obnove tkiva, kao posljedica ponavljajućih mehaničkih opterećenja i viška ekscentričnih mišićnih aktivnosti tijekom duljih razdoblja bez odgovarajućeg oporavka. Posebno, produljeni periodi oporavka pasivnih mišićno-koštanih struktura (npr. tetiva, zglobnih struktura i kostiju), koje su pokazale povećane mehaničke zahtjeve tijekom usporavanja, mogu ukazivati na kronični model preopterećenja, što može dovesti do strukturnog zatajenja u obliku kroničnih ozljeda (npr. stres frakture i tendinitis). Ključnim postaje pronalaženje optimalnog opterećenja, niti previše, niti premalo zbog homeostaze tkiva, posebno u svrhu upravljanja kroničnijim posljedicama visokointenzivnih usporavanja, poput fenomena 'mehaničkog zamora'. (A.J. McBurnie i sur., 2021.).

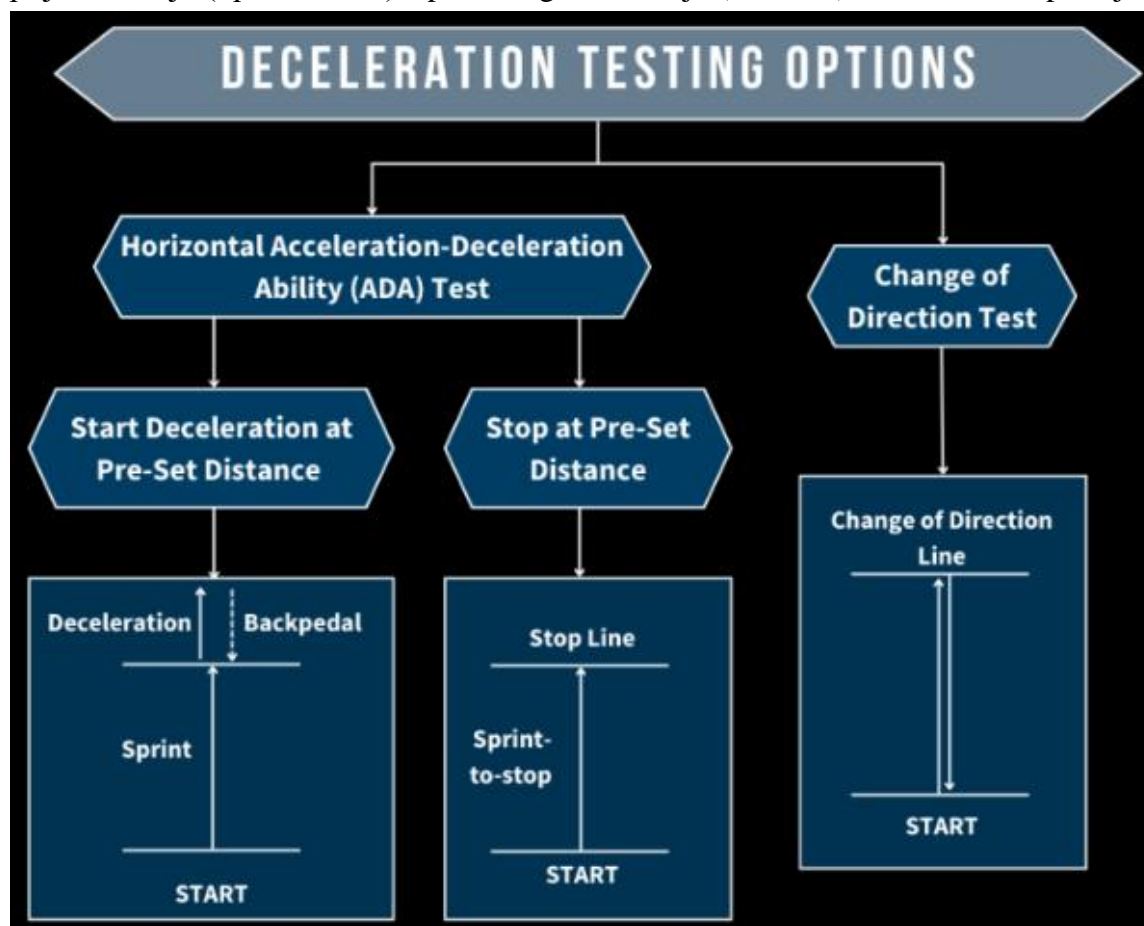
Za zaključiti je da moramo voditi računa o važnosti usporavanja u smanjenju inercije tijela, posebno pri velikim brzinama i naglim promjenama smjera. Iako su ove akcije ključne za uspješnu izvedbu, one također predstavljaju značajan rizik za beskontaktne ozljede, poput ozljede prednjeg križnog ligamenta (ACL), zbog visokog opterećenja koljena u različitim ravninama (A.J. McBurnie i sur., 2021.). Primjena strategija poput pravovremenog usporavanja i prilagodbi držanja tijela može smanjiti opterećenje na koljenima i umanjiti rizik od ozljeda. Usporavanja zahtijevaju redoviti trening i prilagodbe mišićno-koštanog sustava kako bi se smanjila oštećenja mišića i povećala otpornost na ponovljene ekscentrične napore. Ipak, nedovoljan oporavak između intenzivnih aktivnosti može rezultirati kroničnim ozljedama, stoga je ključno pažljivo uravnotežiti opterećenje tijekom treninga kako bi se izbjegla prekomjerna opterećenja i osigurao adekvatan oporavak (A.J. McBurnie i sur., 2021.).

## 5. Trening deceleracije u nogometu

### 5.1. Dijagnostika motoričkih sposobnosti u svezi s deceleracijom

Kako bi programirali kvalitetan trening najprije moramo provesti dijagnostičke postupke sposobnosti koje razvijamo. U novije vrijeme posvećeno je više istraživanja razvoju protokola koji se mogu koristiti u praktičnim uvjetima za pouzdano profiliranje sposobnosti sportaša u horizontalnoj deceleraciji. Ovi testovi mogu se podijeliti na: 1) test sposobnosti ubrzanja i

usporavanja (ADA test) ili 2) test promjene smjera (COD), koji zahtijeva značajnu deceleraciju prije skretanja (tipično  $> 90^\circ$ ) i ponovnog ubrzanja (Slika 10). Za ADA test postoje dvije



Slika 10. Opcije testiranja za procjenu horizontalne deceleracije. Damian Harper (2023.), „Don’t Speed Up What You Can’t Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete’s Horizontal Deceleration Performance Capabilities?” <https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

opcije: 1) usporavanje prije povlačenja unatrag ili 2) usporavanje i zaustavljanje na unaprijed određenoj udaljenosti (Damian Harper, 2023).

Kod svakog protokola testiranja deceleracije prikazanog na slici 10 važno je razmotriti udaljenost sprinta koja će se koristiti prije početka usporavanja. Primijećeni su znatno veći zahtjevi za deceleraciju pri usporedbi ADA testova na 10 m i 20 m (Slika 11), s visokim postotkom sportaša koji postižu iznadprosječne rezultate na jednom ADA testu, ali ne i na drugom (Philipp et al., 2023). Slično se događa kod COD testova, gdje sportaši koriste različite strategije kočenja, ovisno o udaljenosti deceleracije i broju potrebnih koraka prije skretanja (Dos’Santos et al., 2021; Nedergaard et al., 2014). Zbog toga je bitno pažljivo razmotriti udaljenost i brzinu prije usporavanja. Detaljan profil horizontalne deceleracije može zahtijevati

provođenje deceleracije s nižih i viših sprint brzina, s obzirom na različite zahtjeve i fizičke karakteristike povezane s kočenjem pri različitim brzinama (npr. različite posture, karakteristike koraka i trajanje kontakta s tlom) (Damian Harper, 2023).

Test koji ograničava mnoge od ovih nedostataka je test 505, koji je još jedna popularna procjena sposobnosti promjene smjera (COD). Tradicionalno, 505 uključuje sprint od 10 metara kroz vrata za mjerenje vremena, zatim sprint od dodatnih 5 metara do linije za okretanje, gdje jedna noga mora doseći i „ukopati se“ na toj liniji, prije nego što sportaš napravi okret od 180° i sprinta natrag kroz vrata za mjerenje vremena. Akcija promjene smjera od 180° fizički je zahtjevna i može izolirati sposobnost promjene smjera u horizontalnoj ravnini, a identificiran je kao pouzdan test (Nimphius i sur., 2018.).

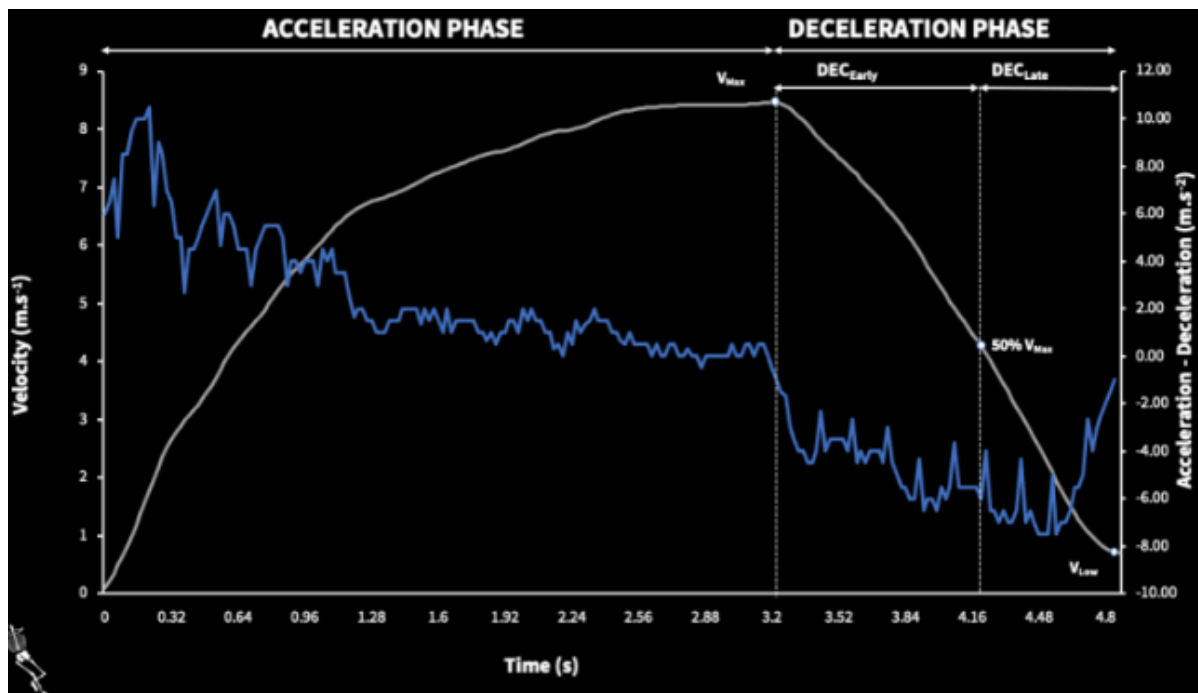
Variable	ADA 10m	ADA 20m
Approach Velocity ( $m.s^{-1}$ )	6.20 ± 0.35	7.06 ± 0.36*
Approach Momentum ( $kg.ms^{-1}$ )	457 ± 72	521 ± 0.35*
Horizontal Deceleration ( $m.s^{-2}$ )	-3.26 ± 0.30	-4.16 ± 0.36*
Time-to-stop (s)	1.46 ± 0.16	1.70 ± 0.36*

Slika 11. Razlike u zahtjevima deceleracije pri izvođenju 10m ili 20m ADA testa. ADA = Sposobnost ubrzavanja i usporavanja \* označava značajno veću vrijednost od 10m ADA testa. Damian Harper (2023.), „Don’t Speed Up What You Can’t Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete’s Horizontal Deceleration Performance Capabilities?“

<https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

Vjerojatno najvažniji faktor koji treba uzeti u obzir jest koji će se mjerni uređaj koristiti za mjerenje deceleracije. Da bi se postiglo točno mjerenje deceleracije, važno je precizno identificirati trenutak kada sportaš dostiže svoju maksimalnu brzinu, što je zapravo početak faze usporavanja. Ovo je slično kao i mjerenje sposobnosti ubrzanja sportaša i precizno prepoznavanje trenutka kada sportaš počinje ubrzavati. Za točno prepoznavanje početka usporavanja, praktičari moraju odabrati uređaj za mjerenje koji može bilježiti trenutnu brzinu sportaša tijekom cijelog testa usporavanja. Primjeri ovih uređaja uključuju radar, laser, globalne pozicijske sustave (GPS), motorizirani otpor, tehnologiju za otkrivanje svjetlosti i udaljenosti (LiDAR) te kamere velike brzine s opcijom automatske detekcije ključnih metrika deceleracije pomoću umjetne inteligencije (AI) (Damian Harper, 2023).

Nakon što se prikupe podaci pomoću mjernog uređaja, trebali bi se dobiti profil brzine u odnosu na vrijeme. Primjer profila brzine u odnosu na vrijeme (slika 12) dobivenog tijekom ADA testa gdje usporavanje počinje na unaprijed postavljenoj udaljenosti od 20 m. Točka vremena odmah



Slika 12. Primjer profila brzine/vremena (siva linija) i podataka o trenutnom ubrzanju i usporavanju (plava linija) snimljenih tijekom testa sposobnosti ubrzanja i usporavanja (ADA). Početak faze usporavanja definira se maksimalnom brzinom ( $V_{max}$ ), dok se kraj faze usporavanja definira najnižom brzinom ( $V_{low}$ ). 50% maksimalne brzine ( $50\% V_{max}$ ) koristi se za identifikaciju ranih (DEC Early) i kasnih (DEC Late) podfaza horizontalnog usporavanja. Damian Harper (2023.) „Don't Speed Up What You Can't Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete's Horizontal Deceleration Performance Capabilities?”

<https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

nakon maksimalne brzine ( $V_{max}$ ) označava početak faze usporavanja, dok kraj faze usporavanja označava najniža brzina ( $V_{Low}$ ). Faza usporavanja može se podijeliti na ranu (DEC Early) i kasnu (DEC Late) fazu koristeći točku vremena povezanu s 50% maksimalne brzine ( $50\% V_{max}$ ) (Damian Harper, 2023).

Uz profil brzine u odnosu na vrijeme, slika 13 također prikazuje trenutne podatke o ubrzanju i usporavanju izračunate iz podataka o brzini tijekom ADA testa. Za izračunavanje trenutne



Slika 13. Primjer profila brzine u odnosu na vrijeme snimljenog tijekom modificiranog 505 testa korištenjem motoriziranog uređaja otpora. Faza usporavanja je istaknuta. Početak faze usporavanja određen je iz maksimalne brzine postignute prije skretanja, a kraj faze usporavanja definira se kada je brzina promijenila smjer. Damian Harper (2023.) „Don’t Speed Up What You Can’t Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete’s Horizontal Deceleration Performance Capabilities?” <https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

horizontalne deceleracije koristi se sljedeća jednadžba: Deceleracija ( $m * s^{-2}$ ) =  $(v_f - v_i) / (t_f - t_i)$ . Gdje je „v“ brzina, „t“ je vrijeme, „f“ je konačna brzina ili vrijeme, a „i“ je početna brzina ili vrijeme (Damian Harper, 2023).

Koristeći iste analitičke postupke primijenjene na test promjene smjera (COD) od 180°, slika 4 prikazuje primjer profila brzine-vremena dobivenog iz modificiranog 505 testa uz pomoć motoriziranog uređaja otpora (1080 sprint; 1080 Motion, Lidingö, Švedska) koji snima na 333Hz. Mjerenja brzine korištenjem ovog uređaja tijekom modificiranog 505 testa pokazala su se valjanima u usporedbi s video kamerama (Eriksrud i sur., 2022). Kao što se može vidjeti na slici 13, faza usporavanja može se odrediti tijekom razdoblja prije skretanja kada sportaš mora usporiti svoju inerciju nakon početnog ubrzanja prije skretanja i ponovnog ubrzavanja (Damian Harper, 2023).

Koristeći profil brzina u odnosu na vrijeme dobiven iz ADA ili COD testa, postoji nekoliko metrika koje se mogu koristiti za procjenu sposobnosti horizontalnog usporavanja sportaša. Tablica 1 daje definicije tih metrika i njihovu važnost za sportske performanse i rizik od ozljeda (Damian Harper, 2023).

Tablica 1. Definicije ključnih metričkih varijabli u horizontalnom usporavanju

Metrika	Definicija	Važnost	CV%
Vršni trenutak inercije	(kg/m.s <sup>1</sup> ) Najveći moment (masa x brzina) sportaša zabilježen neposredno prije početka usporavanja.	Pružuje informaciju o zahtjevima usporavanja u odnosu na moment pristupa sportaša.	1.4
Vršna brzina	(m.s <sup>-1</sup> ) Najveća brzina sportaša zabilježena neposredno prije početka usporavanja.	Pružuje informaciju o zahtjevima usporavanja u odnosu na brzinu pristupa sportaša.	1.4
Prosječno usporavanje	(m.s <sup>-2</sup> ) Prosječno svih trenutnih vrijednosti usporavanja zabilježenih tijekom cijele faze usporavanja.	Daje informacije o sposobnosti sportaša da održava visoke vrijednosti usporavanja tijekom cijele faze usporavanja.	5.2
Vršno usporavanje	(m.s <sup>2</sup> ) Najviša vrijednost usporavanja zabilježena tijekom cijele faze usporavanja.	Daje informacije o najvišoj zabilježenoj vršnoj vrijednosti usporavanja sportaša. Može biti povezana i s boljom sposobnošću usporavanja i rizikom ozljede (npr. veće vršne sile).	9.6
Prosječno rano usporavanje	(m.s <sup>-2</sup> ) Prosječno svih trenutnih vrijednosti usporavanja zabilježenih tijekom rane faze usporavanja (od V <sub>max</sub> do 50% V <sub>max</sub> ).	Daje informacije o brzini usporavanja u početnim koracima usporavanja. Ukazuje na bolju sposobnost generiranja visokih kočionih sila u ranoj fazi usporavanja.	8.8
Prosječno kasno usporavanje	(m.s <sup>-2</sup> ) Prosječno svih trenutnih vrijednosti usporavanja zabilježenih tijekom kasne faze usporavanja (od 50% V <sub>max</sub> do V <sub>Low</sub> ).	Daje informacije o količini usporavanja generiranog u kasnijim koracima faze usporavanja. Važno za performanse, ali može biti povezano s rizikom ozljede.	9.7
Omjer rano/kasno usporavanje	Prosječno rane faze usporavanja podijeljen s prosječkom kasne faze usporavanja.	Pružuje informacije o strategiji usporavanja. Što je omjer bliži 1, to je ravnomjernije usporavanje sportaša kroz cijelu fazu usporavanja.	N/A
Udaljenost do zaustavljanja	(m) Udaljenost koju sportaš treba da se zaustavi, mjereno od V <sub>max</sub> do V <sub>Low</sub> .	Kraća udaljenost usporavanja prednost je u performansama, ali na to može utjecati strategija usporavanja i antropometrijske karakteristike.	7.2
Vrijeme do zaustavljanja	(s) Vrijeme koje sportašu treba da se zaustavi, mjereno od V <sub>max</sub> do V <sub>Low</sub> .	Kraće vrijeme usporavanja prednost je u performansama jer omogućuje brže zaustavljanje i stvaranje prostora ili zatvaranje prostora.	5.3

Legenda: CV% = koeficijent varijacije; COD = promjena smjera. Damian Harper (2023.) „Don't Speed Up What You Can't Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete's Horizontal Deceleration Performance Capabilities?“ <https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

Prosječno usporavanje je ključna mjera sposobnosti sportaša za horizontalno usporavanje. Ona pokazuje koliko učinkovito sportaš može održavati visoke vrijednosti usporavanja kroz cijelu fazu usporavanja, odnosno koliko brzo može smanjiti brzinu s obzirom na vrijeme. Prosječno usporavanje u ranoj fazi usporavanja također je važno jer ukazuje na sposobnost sportaša da

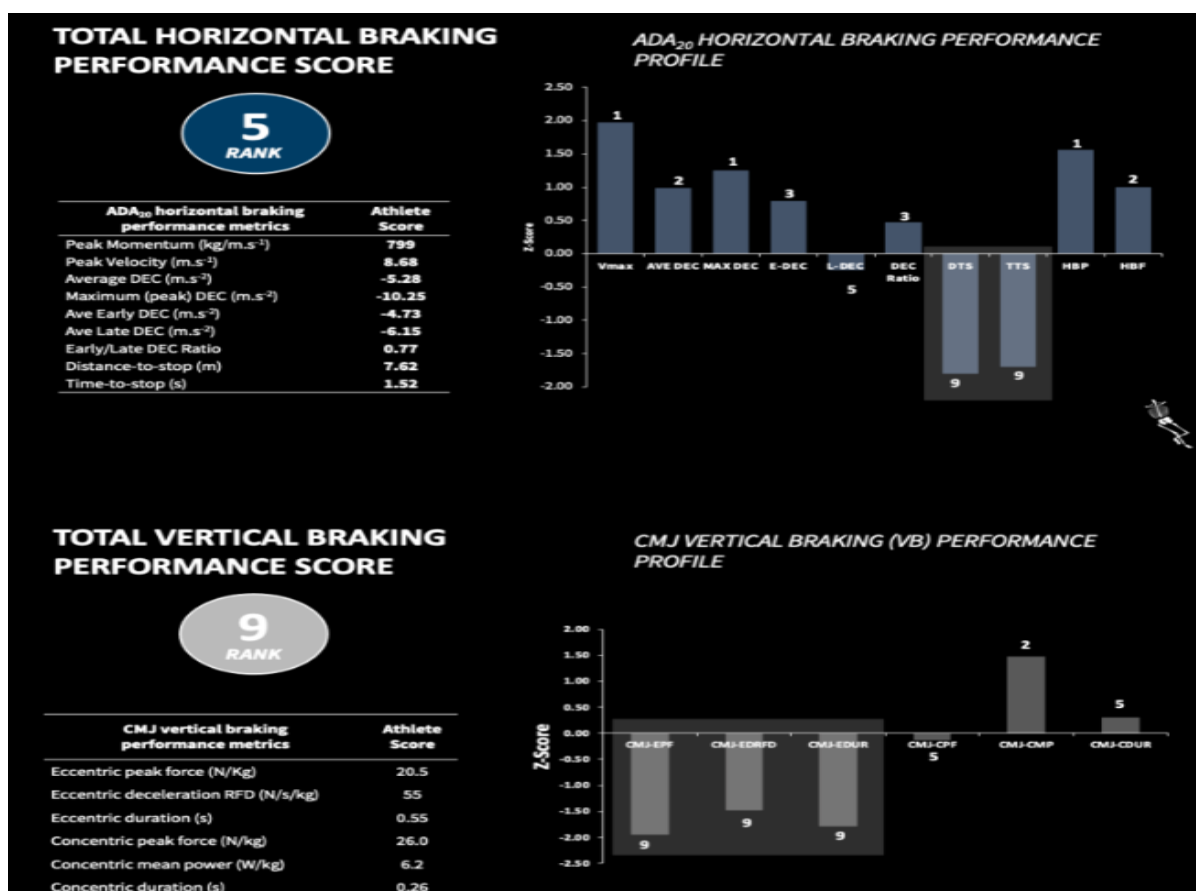
brzo smanji brzinu u početnim koracima. Na primjer, rani horizontalni segment usporavanja ima veću povezanost s ukupnom sposobnošću usporavanja u usporedbi s kasnom fazom usporavanja (Harper, Cohen i sur., 2022).

Ovo naglašava važnost sposobnosti stvaranja većih horizontalno usmjerenih sila kočenja u početnim koracima pri većim brzinama, kada su vremena kontakta s tlom kraća, tj. sposobnost generiranja visokog impulsa kočenja. S druge strane, sportaši koji nemaju sposobnost stvaranja ili toleriranja visokih impulsa kočenja u ranoj fazi horizontalnog usporavanja vjerojatno će produžiti ovu fazu i/ili će morati više usporavati u kasnijoj fazi horizontalnog usporavanja, kada su brzine kretanja tijela niže, a vremena kontakta s tlom dulja, tj. kada imaju više vremena za generiranje sila kočenja. Omjer između ranog i kasnog horizontalnog usporavanja može se koristiti kako bi se dobio neki uvid u strategiju usporavanja sportaša. Na primjer, vrijednost bliža 1 sugerira uravnoteženiju strategiju usporavanja ili da sportaš može generirati veće usporavanje unutar rane faze horizontalnog usporavanja u odnosu na kasnu fazu (Damian Harper, 2023).

Horizontalna udaljenost za usporavanje i vrijeme zaustavljanja važni su pokazatelji uz vrijednosti performansi horizontalnog usporavanja sportaša. Ipak, mnogi stručnjaci još uvijek ne shvaćaju da je usporavanje višekorak zadatak i može se odvijati na relativno dugim udaljenostima u usporedbi s udaljenostima ubrzanja. Na primjer, prema podacima koje su izvijestili Graham-Smith i sur. (2018), sprint od 15 m do zaustavljanja može zahtijevati oko 6,61 m za usporavanje, što bi iznosilo oko 44% od tih 15 m koji prethode koraku promjene smjera tijekom tradicionalnog 505 COD testa. Jasno je da bi iz perspektive izvedbe bilo korisno smanjiti udaljenost ili vrijeme zaustavljanja s bilo koje brzine kretanja. Na primjer, tijekom manevara promjene smjera sportaš bi mogao ubrzavati dulje prije kočenja, što bi rezultiralo bržim ukupnim vremenima izvedbe promjene smjera (Dos'Santos i sur., 2021) (Damian Harper, 2023).

Dodatna metrika koja je nedavno predložena, a koja bi mogla biti „nedostajući spoj“, posebno za rehabilitacijske svrhe, je indeks usporavanja (Wolfe i sur., 2023). Indeks usporavanja mjeri brzinu usporavanja objekta u odnosu na njegovu sposobnost ubrzanja i može se izračunati dijeljenjem vremena usporavanja s vremenom ubrzanja. Autori sugeriraju da ova metrika pokazuje koliko dobro pojedinac može kontrolirati svoje pokrete i smanjiti rizik od ozljede. Stoga bi sportaš s niskim indeksom usporavanja sugerirao nisku kontrolu i veći rizik od ozljede. Ova metrika je obećavajuća, jer je visoki postotak ozljeda prednjeg križnog ligamenta (ACL) bez kontakta povezan s obrambenim pritiskom kada igrač može pokazati loše donošenje odluka

pri visokom ubrzanju s smanjenom sposobnošću usporavanja i promjenom namjeravane akcije (Gokeler i sur., 2023). Potrebna su daljnja istraživanja kako bi se istražila važnost ove metrike za performanse, smanjenje rizika od ozljeda i rehabilitac



Slika 14. primjer profila performansi kočenja sportaša korištenjem 20m ADA - testa (ADA20) i vertikalnog skoka s pripremom (CMJ) u ekscentričnoj (ECC) i koncentričnoj (CON) fazi. stupci prikazuju rang sportaša unutar tima. Vmax = vršna pristupna brzina; AVE = prosječna; MAX = maksimalna (vršna); E-DEC = rano usporavanje; L-DEC = kasno usporavanje; DTS = udaljenost do zaustavljanja; TTS = vrijeme do zaustavljanja; HBP = horizontalna snaga kočenja; HBF = horizontalna sila kočenja; EPF = ekscentrična vršna sila; EDRFD = brzina razvoja ekscentrične sile kočenja; EDUR = trajanje ekscentrične faze; CPF = koncentrična vršna sila; CMP = prosječna snaga koncentrične faze; CDUR = trajanje koncentrične faze. Damian Harper (2023.) „Don't Speed Up What You Can't Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete's Horizontal Deceleration Performance Capabilities?"

<https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

ijske svrhe te odredilo kako najbolje izračunati ovu metriku, jer vrijeme faza ubrzanja i usporavanja može biti nesrazmjerno ovisno o zadatku koji se izvodi (Damian Harper, 2023).



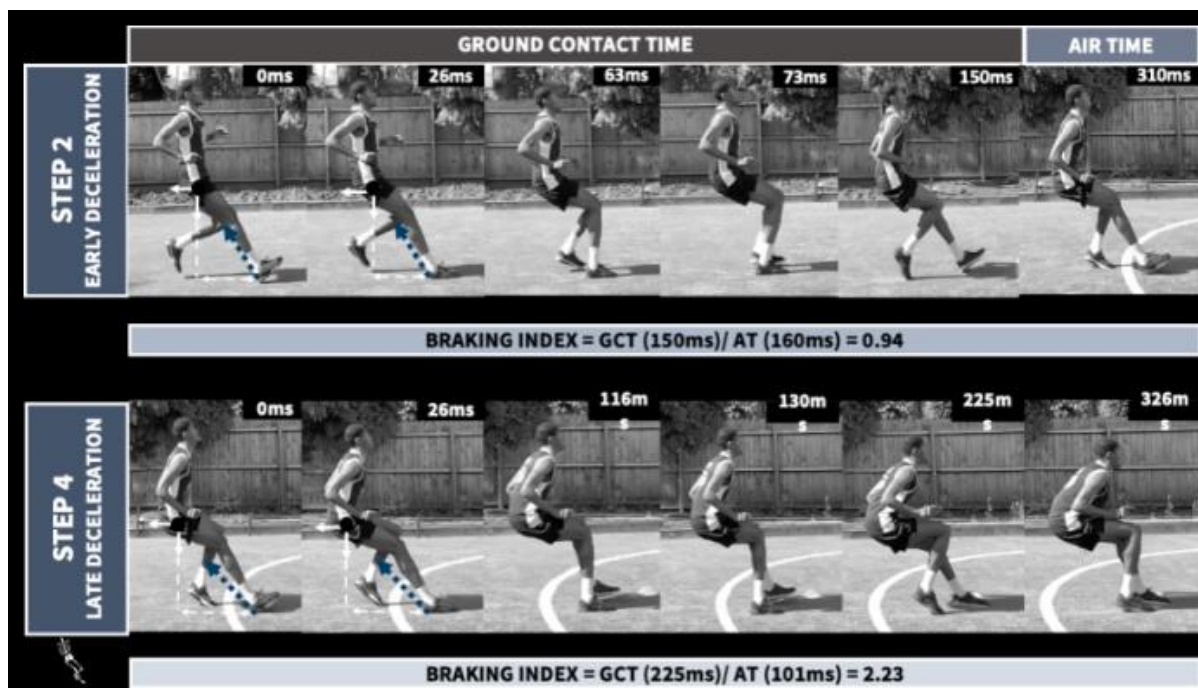
Profil performansi kočenja sportaša korištenjem prilagođene verzije ukupnog rezultata atletizma, predloženog od Turnera (2019.) (Slika 14), kako bi se pružio cjelovitiji uvid u sportaševe ukupne sposobnosti kočenja. Osim horizontalnih performansi kočenja evaluiranih pomoću 20m ADA testa, vertikalni skok (CMJ) također se koristi za pružanje uvida u specifične neuromuskularne kvalitete koje mogu podupirati sposobnost horizontalnog usporavanja (Harper, Cohen i dr., 2020.). Sportaš prikazan na slici 14 postigao je najveću vršnu brzinu i inerciju prije početka usporavanja i stoga je rangiran kao prvi u grupi. Unatoč tome što je imao neke od najboljih horizontalnih metrika kočenja, udaljenost do zaustavljanja i vrijeme za zaustavljanje bili su rangirani na dnu ove grupe, što naglašava utjecaj vršne pristupne brzine/inercije, strategije kočenja i antropometrijskih karakteristika na ove varijable (Damian Harper, 2023).

Vertikalni metrički podaci skoka iz čučnja s pripremom (CMJ) pružaju zanimljiva zapažanja. Iako ovaj sportaš ima neke od najboljih horizontalnih performansi kočenja, jasno je da bi mogao imati koristi od poboljšanja performansi u ekscentričnoj (silaznoj) fazi CMJ-a. Poboljšanjem performansi u ovim ekscentričnim fazama moguće je dodatno poboljšati horizontalne performanse kočenja i možda pomoći u smanjenju udaljenosti za usporavanje i vremena za zaustavljanje. Na primjer, odabir vježbi koje poboljšavaju sposobnosti brzog ekscentričnog kočenja mogao bi smanjiti trajanje ekscentrične faze i poboljšati ekscentričnu vršnu silu te ekscentričnu usporavajuću silu RFD (Harper DJ i sur., 2022). Važno je napomenuti da bi se vertikalni profil performansi kočenja mogao dodatno nadopuniti korištenjem neuromuskularnih performansi saskoka (DJ), budući da su neki od tih metrika također povezani s horizontalnom sposobnošću usporavanja (Harper, Cohen i dr., 2022.). Bitno je naglasiti da je potrebno daljnje istraživanje kako bi se utvrdila učinkovitost intervencija usmjerenih na horizontalne i vertikalne sposobnosti kočenja te kako te intervencije mogu poboljšati sposobnosti horizontalnog usporavanja (Damian Harper, 2023).

Stručnjaci mogu uz podatke o trenutnoj brzini tijela kroz vrijeme istovremeno istražiti snimanje drugih kinematičkih podataka putem snimaka visoke brzine koji omogućuju procjenu kinematike zglobova i prostorno-vremenskih karakteristika koraka (npr. vrijeme kontakta s tlom, vrijeme u zraku, duljina koraka, frekvencija koraka, udaljenost pri dodiru tla, usporavanje po koraku itd.). Vrijeme kontakta s tlom (GCT) i vrijeme u zraku (AT) mogu koristiti za izračun indeksa kočenja (GCT/AT) kako bi se dobio uvid u jedinstvene zahtjeve i performanse različitih koraka kočenja unutar rane i kasne faze usporavanja. Koraci kočenja tijekom rane faze usporavanja imaju znatno kraće vrijeme kontakta s tlom u usporedbi s kasnom fazom

usporavanja, što zahtijeva od sportaša generiranje kočionih sila u mnogo kraćim vremenskim intervalima (tj. potrebno je brzo generiranje brzine kočenja). To je prikazano mnogo nižim indeksom kočenja (tj. 0,94) nego onim u kasnoj fazi usporavanja (2,23). Kao što je ranije navedeno, ove jedinstvene karakteristike kočenja povezane s različitim fazama usporavanja vjerojatno zahtijevaju razvoj specifičnih fizičkih sposobnosti (Slika 15) (Damian Harper, 2023).

Napredak u tehnologijama (npr. inercijalne mjerne jedinice, ulošci za mjerenje sile/pritiska stopala) sada također pruža mogućnost za procjenu sila reakcije tla od koraka do koraka koje se generiraju prilikom kočenja tijekom horizontalnih manevara usporavanja. Takve informacije mogu biti iznimno vrijedne za informiranje i evaluaciju programa treniranja usporavanja i povratka sportu, dok pružaju dublji uvid u mehaničke zahtjeve kočenja tijekom horizontalnog usporavanja (Damian Harper, 2023).



Slika 15. Kinogram ključnih faza koraka kočenja u ranim i kasnim fazama usporavanja. Vrijeme kontakta s tlom prikazano je tijekom svake faze kočenja počevši od udarca petom, dok je indeks kočenja izračunat na temelju ukupnog vremena kontakta s tlom i vremena provedenog u zraku, mjenjenog od trenutka odvajanja prstiju od tla do sljedećeg udarca petom.

Damian Harper (2023.) „Don't Speed Up What You Can't Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete's Horizontal Deceleration Performance Capabilities?"

<https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

Zaključno, za kvalitetan trening potrebno je provesti dijagnostičke postupke procjene sposobnosti sportaša, posebno u horizontalnoj deceleraciji. Istraživanja se fokusiraju na testove sposobnosti ubrzanja i usporavanja (ADA test) te testove promjene smjera (COD), pri čemu udaljenost sprinta utječe na performanse. Test 505, koji mjeri promjenu smjera od 180°, smatra se pouzdanim. Ključno je odrediti trenutak postizanja maksimalne brzine, što omogućuje precizno praćenje faze usporavanja. Različiti uređaji, uključujući GPS i kamere visoke brzine, koriste se za mjerenje brzine sportaša tijekom testiranja. Analiza brzine u odnosu na vrijeme otkriva važne metrike poput prosječnog i vršnog usporavanja. Uspješnost u deceleraciji pokazuje sposobnost sportaša da brzo smanjuje brzinu, a omjer ranog i kasnog usporavanja može otkriti strategije usporavanja. Također je važno uzeti u obzir vertikalne performanse, poput podataka iz vertikalnog skoka, za daljnje poboljšanje sposobnosti usporavanja. Napredak tehnologija omogućava detaljnu analizu mehaničkih zahtjeva, što je ključno za razvoj učinkovitih programa treninga i rehabilitacije.

## 5.2. Programi treninga za razvoj deceleracije

Prilikom strukturiranja trenažnog programa, važno je napomenuti da su temeljna poboljšanja u izvedbi rezultat kroničnog izlaganja trenažnim podražajima, stoga je upravljanje umorom i optimizacija sposobnosti kroz stratešku manipulaciju fizioloških stresora od ključne važnosti. Predloženo je nekoliko strateških pristupa za maksimiziranje trenažnih adaptacija kod sportaša. Na primjer, linearni, konjugirani, konkurentni, blok i koncentrirani modeli periodizacije. Međutim, s obzirom na inherentnu strukturu godišnjeg kalendara u nogometu (npr. pripremni period od 4 do 6 tjedana u usporedbi s natjecateljskim periodom od 40 do 42 tjedna), skraćeni vremenski okvir za razvijanje fizičkih sposobnosti često se pojavljuje kao uobičajena prepreka za ono što se smatra "najboljom praksom" za stručnjake unutar elitnih nogometnih klubova (McBurnie i sur., 2021).

Shodno navedenome sportaše treba izlagati visoko intenzivnim deceleracijama u tjednim mikrociklusima. Preporučuje se i kompenzacijski trening deceleracije isto kao i kompenzacijski trening sprinta. Sposobnost deceleracije treba se razvijati kao zasebna tehnička vještina igrača, uz paralelno jačanje ekscentrične snage mišića i poboljšanje kvalitete neuromuskularnih performansi izvan terena kroz pliometrijski trening (Tom Dos'Santos, 2024).

Glavni fokus osnovnih vježbi kočenja je ciljanje specifičnih prilagodbi neuromehaničkih strukturnih svojstava mišića i tetiva kako bi se igračima omogućilo stvaranje i toleriranje većih horizontalnih kočionih sila koje moraju biti neutralizirane i kontrolirane visokim unutarnjim (tj. mišićnim) silama. Prema tome, važan cilj je povećanje sposobnosti smanjenja šoka kroz donje udove, budući da se pri svakom kontaktu stopala s podlogom tijekom intenzivnih kočionih aktivnosti doživljavaju značajne udarne sile. Kako bi se omogućilo učinkovito ublažavanje šoka i smanjila vjerojatnost ozljeda tijekom kočenja, dodatni je cilj poboljšati senzomotoričku kontrolu udova i trupa (tj. dinamičku stabilizaciju više segmenata). Ekscentrični trening snage je snažan podražaj za poboljšanje neuromehaničke funkcije mišića i tetiva (npr. jakost, snaga, čvrstoća, ciklus istežanja-skraćivanja (SSC)) i za poticanje pozitivnih strukturnih prilagodbi (npr. poprečna površina mišića i tetiva, veličina mišićnih vlakana tipa II). Stoga su metode ekscentričnog treninga snage ključne za kategoriju osnovnih vježbi kočenja, kao i za druge kategorije vježbi unutar okvira za izvedbu kočenja. Metode treninga unutar kategorije osnovnih vježbi kočenja uključuju: 1) visok ekscentrični napor, 2) unaprijed planirana horizontalna usporavanja, 3) asistirani horizontalni koraci kočenja, 4) ekscentrične yielding-izometrije i 5) kontrolu ekscentričnog doskoka (Harper DJ i sur., 2024).

Pliometrijski trening dokazano je vrlo učinkovit u postizanju pozitivnih neuromuskularnih prilagodbi, što dovodi do poboljšanja performansi u raznim dinamičnim zadacima. Također, smatra se izvrsnom metodom za unapređenje sportskih rezultata na terenu. Pliometrijske aktivnosti, osobito stabilizacija pri doskoku, od ključne su važnosti za jačanje optimalne neuromuskularne kontrole i prevenciju ozljeda donjih ekstremiteta (Tom Dos'Santos, 2024).

Trening ekscentričnog preopterećenja koristi prednost većih sila koje su moguće kod ekscentričnih u usporedbi s koncentričnim mišićnim akcijama, primjenom treninga s otporom koji stavlja naglašeni zahtjev na ekscentričnu fazu vježbe. Ekscentrični trening snage preporučuje se za poboljšanje tolerancije opterećenja pri kočenju te za olakšavanje brze horizontalne deceleracije i sposobnosti promjene smjera. Tehnologije poput zamašnjaka, kroz upotrebu sustava s remenicama, omogućuju lakše provođenje visokog ekscentričnog opterećenja u horizontalnom smjeru s višeravninskim zahtjevima pokreta zglobova (npr. u frontalnoj, sagitalnoj i transverzalnoj ravnini), što je specifičnije za zahtjeve kočenja tijekom horizontalne deceleracije, te stoga može imati bolji prijenos na izvedbu promjene smjera (Slika 16). To također ima prednost u treniranju unilateralnih kočionih sposobnosti, što olakšava brzu horizontalnu deceleraciju i izvedbu promjene smjera s oba ekstremiteta, što možda nije moguće postići korištenjem bilateralnih vertikalnih vježbi sa zamašnjakom (Harper DJ i sur., 2024).

Osim različitih modaliteta vježbanja koji se mogu odabrati za visoko ekscentrično opterećenje, praktičari bi trebali donositi informirane odluke o pristupima visokog ekscentričnog opterećenja na temelju individualnog iskustva u treningu i sposobnosti snage. Na primjer, Suchomel i sur. preporučuju korištenje submaksimalnih ekscentričnih opterećenja s polaganim i kontroliranim ekscentričnim tempom ili izoinercijalni trening na zamašnjaku za igrače s nižom razinom snage i iskustvom u treningu otpora. S druge strane, za igrače s većom snagom i iskustvom u treningu otpora preporučen je izoinercijalni trening na zamašnjaku (slika 16) i trening s naglašenim ekscentričnim opterećenjem (Harper DJ i sur., 2024).

Unaprijed planirane horizontalne deceleracije bez promjene smjera zahtijevaju od sportaša da smanji i/ili u potpunosti neutralizira inerciju u različitim položajima tijela (npr. paralelni stav, raskoračni stav, četvrt okreta, poluokret, stav na jednoj nozi) i mogu se izvoditi iz različitih smjerova kretanja (npr. prema naprijed, bočno, unazad). Prednost korištenja unaprijed planiranih horizontalnih deceleracija je ta što se intenzitet može sustavno povećavati ili



Slika 16. Vježba horizontalnog kočenja izvedena sa zamašnjakom i sajlom uređajem.  
(Harper DJ i sur., *The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports*, 2024)

<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

smanjivati manipuliranjem brzinom i/ili udaljenosti na kojoj se deceleracija započinje, ili intenzitetom na kojem se naknadna deceleracija izvodi (Harper DJ i sur., 2024).

Primjerice, kako bi se potaknula kasna strategija kočenja i snižavanje centra mase tijela (COM), sportašima je dano uputstvo da „naglo zakoče” i „spuste kukove”. Nakon šest tjedana programa modifikacije tehnike promjene smjera (COD) i kočenja, sportaši su poboljšali izvedbu COD-a pod kutom od 90° i 180° povećavši sposobnost primjene horizontalno usmjerenih sila (tj. veće deceleracije) u pretposljednem koraku kočenja. Slično tome, u šestotjednom programu višesmjerne brzine koji su proveli Lockie i suradnici, uključivanje unaprijed planiranih horizontalnih deceleracija u zaustavljanje u raskoraku dovelo je do većih poboljšanja u brzini COD-a, snazi ekstenzora i fleksora koljena, snazi nogu i reaktivnom indeksu snage skoka s povišenja (RSI) u usporedbi s grupom koja je izvodila samo vježbe višesmjerne brzine. Ova saznanja ukazuju na potencijalnu važnost unaprijed planiranih horizontalnih deceleracija bez promjene smjera za podučavanje tehnike horizontalne deceleracije i za poboljšanje specifičnih tehničkih, neuromuskularnih adaptacija koje su ključne za veću sposobnost horizontalne deceleracije. Ovo je jednostavna i ekonomična metoda koja se lako može integrirati u terenske treninge (npr. zagrijavanje, hlađenje, tehničko/taktičke sesije) za sportove s višesmjernim kretanjem (Harper DJ i sur., 2024).

Pristupi treningu s otporom i asistiranjem u otporu široko se koriste za ciljanje specifičnih komponenti sile-brzine koje utječu na maksimalno horizontalno ubrzanje i performanse sprinta. Međutim, primjena treninga s otporom i asistiranjem u otporu za poboljšanje sposobnosti horizontalne deceleracije ostala je uglavnom neistražena, unatoč potencijalnim prednostima manipuliranja zahtjevima horizontalnog kočenja. Potpomognuti horizontalni



Slika 17. Potpomognuti horizontalni koraci kočenja generiranjem sile elastičnom trakom.

(Harper DJ i sur., *The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports*, 2024)

(<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

koraci kočenja razlikuju se od potpomognutih horizontalnih deceleracija opisanih u kategoriji razvojnih vježbi kočenja po tome što se izvode pri manjim brzinama kretanja s većim potpomognutim (vučnim) silama kako bi se produžilo vrijeme tijekom kojeg se primjenjuju sile kočenja. Primjena visokih potpomognutih vučnih sila slična je konceptu teškog ili vrlo teškog treninga sprinta s otporom, koji omogućuje sportašima da postignu veći nagib trupa prema naprijed i više vremena za primjenu horizontalno orijentirane pogonske sile (tj. mehaničke učinkovitosti) kako bi poboljšali ranu fazu ubrzanja (tj. 0-5m). Iako trenutno postoji ograničeno istraživanje o teškim potpomognutim koracima kočenja, sugeriramo da bi ovaj pristup treningu mogao biti pogodniji za prilagodbe u kasnoj fazi deceleracije, kada je potrebno usporiti duže kontakte s tlom i sporije horizontalne brzine, kao što se opaža u pripremnim koracima deceleracije (tj. pretposljednji i predzadnji korak) prije skretanja (Harper DJ i sur., 2024).

Potpomognuti horizontalni koraci kočenja mogu se izvoditi na unaprijed određenoj udaljenosti ili broju koraka, pri čemu se potpomognuta sila generira putem jeftine opreme (npr. elastične trake, Slika 17) ili se precizno programira korištenjem motoriziranog uređaja za otpor. Pomoću traka ili materijala (npr. najlon) s visokom vlačnom čvrstoćom, pomoć se može generirati i uz pomoć dodatne osobe koja povlači partnera (tj. pomoć partnera). Unatoč ograničenim istraživanjima, potpomognuti koraci kočenja korišteni su u programima ekscentričnog treninga snage kako bi se povećala maksimalna sila fleksora i ekstenzora koljena na dužim mišićnim duljinama, što potencijalno ukazuje na zaštitni učinak protiv istegnuća mišića tijekom aktivnosti s visokim zahtjevima za ekscentričnim opterećenjem. Također je važno napomenuti da, iz perspektive upravljanja umorom, potpomognuti horizontalni koraci kočenja ne zahtijevaju od sportaša da generira pogonske impulse potrebne za ubrzanje do željene brzine koju bi kasnije trebali usporiti. Dakle, postoji smanjeni ukupni fiziološki i mehanički trošak u usporedbi s nepotpomognutim horizontalnim deceleracijama, što bi mogla biti korisna strategija za smanjenje opterećenja u danima neposredno nakon ili prije natjecateljskih utakmica, ili jednostavno za fokusiranje na poboljšanje sposobnosti horizontalne deceleracije (Harper DJ i sur., 2024).

Ekscentrični izometrijski pokreti, yielding (također poznati kao izometrijske kontrakcije s držanjem) uključuju zadržavanje statičkog položaja koji održava ili ograničava raspon pokreta zgloba na određeno vrijeme ili dok ne dođe do izometrijskog otkaza zbog nemogućnosti da se odupre vanjskom opterećenju (slika 18). Nakon trenutka izometrijskog otkaza, sportaš također može maksimalno pružiti otpor tijekom sljedeće ekscentrične faze kroz željeni raspon pokreta,

Programming Variables	Long Duration Holds	Light Yielding	Moderate Yielding	Heavy Yielding	Maximal Yielding
Load	Body weight	30-60% 1RM	60-80% 1RM	80-100% 1RM	100-110% 1RM
Time (s)	> 60	30-60	30-60	10-30	3-10
Reps	1	3-5	3-5	1-5	1-5
Sets	1-5	3-5	3-5	3-5	2-4
Main Adaptations	✓ Tendon and connective tissue architecture			✓ Tendon and connective tissue architecture (e.g., thickness)	
	✓ Tendon compliance (shock absorbing qualities)			✓ Tendon and connective tissue (i.e., titin) stiffness	
	✓ Eccentric yielding endurance capacity			✓ Time and magnitude of force transmission	
	✓ Fatigue resistance			✓ Muscle hypertrophy	
	✓ Time and magnitude of force transmission			✓ Muscle strength (recruitment of type II motor units)	
	✓ Muscle hypertrophy			✓ Co-activation of agonist and synergist muscles	
	✓ Muscle strength (recruitment of type II motor units)			✓ Positional control and joint stabilisation under high metabolic stress (i.e., decreased muscle oxygenation and pH levels)	
	✓ Co-activation of agonist and synergist muscles			✓ Increased aerobic and anaerobic enzymes	
	✓ Positional control and joint stabilisation under high metabolic stress (i.e., decreased muscle oxygenation and pH levels)			✓ Improved Ca <sup>2+</sup> reuptake that could help protect against muscle damage and DOMS associated with repeated intense decelerations	
	✓ Increased aerobic and anaerobic enzymes				
✓ Improved Ca <sup>2+</sup> reuptake that could help protect against muscle damage and DOMS associated with repeated intense decelerations					

---

**Other Training Considerations:**

1. Performing isometrics at LML reported to promote greater increases in muscle hypertrophy, strength, and tendon and connective tissue stiffness adaptations, with muscle hypertrophy and strength adaptations across a greater joint ROM. LML may also increase susceptibility to muscle damage, but have more profound effects on reducing damage, muscle soreness and declines in force generating potential in subsequent training sessions i.e., have a greater protective effect.
2. Dynamic 'switching' and 'catching' can be performed prior to stabilising in a holding/yielding isometric position. Advanced variations require pre-activation prior to landing due to performing an airborne (jump) phase.

---

**Eccentric Quasi-Isometric (EQI) Training Guidelines**

- Brace and maintain joint position
- Following isometric failure resist eccentric yielding for period of 10-30 seconds through desired ROM
- 1-3 sets per exercise with 180s inter-set rest period

---

1RM = Concentric 1 repetition maximum, CSA = cross sectional area, RFD = rate of force development, ROM = range of movement, LML = long muscle lengths, DOMS = delayed onset of muscle soreness, RFD = rate of force development

Slika 18. Smjernice za propisivanje ekscentričnih „yielding“ i ekscentričnih kvazi-izometrijskih (EQI) vježbi s predloženim adaptacijama (*Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024*).

(<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

što se naziva ekscentričnim kvazi-izometrijskim opterećenjem. Ekscentrični izometrijski pokreti zahtijevaju visoku razinu kontrole položaja i učinkoviti su u generiranju mehaničke napetosti (tj. sile i aktivnog istežanja) potrebne za poticanje strukturnih prilagodbi mišića i vezivnog tkiva, uz značajno manje akutne boli u mišićima nego dinamičke ekscentrične kontrakcije. Također, ovi pokreti zahtijevaju brzo regrutiranje motoričkih jedinica kako bi se održala potrebna količina sile, što rezultira značajno bržim umaranjem u usporedbi s izometrijskim vježbama "guranje" ili "povlačenje". Stoga, povećanjem kapaciteta motoričkih jedinica da održavaju silu, može se zaključiti da će regrutiranje motoričkih jedinica biti



poboljšano tijekom ekscentričnog otpora, što rezultira poboljšanim kapacitetom izdržljivosti pri kočenju (Harper DJ i sur., 2024).

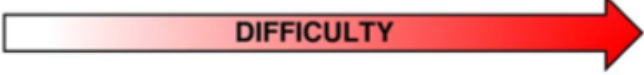
Ekstenzori gležnja, koljena i kuka prethodno su istaknuti kao važni za kočenje u horizontalnim deceleracijama. Stoga, ekscentrične izometrijske vježbe koje izazivaju sposobnost odupiranja fleksiji ovih zglobova dok zauzimaju slične posturalne pozicije koje se primjećuju u različitim koracima horizontalnih deceleracija (npr. antepenultimativni, preposljednji, završni kontakt stopala) trebaju biti pažljivo odabrane i korištene, posebno tijekom pripremnog razdoblja (Harper DJ i sur., 2024).

Kontrola doskoka ima za cilj razviti neuromuskularne kvalitete potrebne za sigurno ublažavanje sila koje nastaju pri kontaktu stopala s tlom tijekom slijetanja iz različitih zadataka kao što su iskoraci, skokovi, poskoci i odrazi, uz istovremeno jačanje optimalne neuromuskularne kontrole i kvalitete pokreta kako bi se smanjio rizik od ozljeda poput ozljede prednjeg križnog ligamenta (ACL). Welch i sur. koristili su zadatak jednonožnog doskoka s visine od 30 cm kao zamjensku mjeru sposobnosti deceleracije, zahtijevajući od igrača da "apsorbiraju doskok što brže prije nego što ga zadrže 2 sekunde". Igrači koji su mogli generirati veću ekscentričnu silu u prvih 25 ms nakon udara imali su superiornu sposobnost promjene smjera (COD), ali samo u zadacima s promjenom smjera koji su zahtijevali značajnu deceleraciju i visoke sile kočenja. Autori su zaključili da brzi ekscentrični impuls predstavlja neuralnu sposobnost prethodne aktivacije mišića prije udara, što bi bila ključna neuromuskularna kvaliteta za jednostrani doskok i kočenje (Harper DJ i sur., 2024).

Vježbe ekscentričnog doskoka s kutije i zadržavanja u niskim čučnjevima i iskoracima također su integrirane u intervencije ekscentričnog treninga kako bi se povećao kut vršne sile u kvadricepsima i tetivama stražnje lože. Kako bi se dodatno pojačale sile ekscentričnog kočenja i zahtjevi ublažavanja udara u vježbama vertikalnog doskoka, dodatni otpor može se generirati korištenjem opreme kao što su bučice ili elastične trake, a preporučuje se njihovo uključivanje u trening blok prije vježbi brzog ekscentričnog opterećenja tijekom skokova s dubokim doskokom (Harper DJ i sur., 2024).

Osim vježbi koje izazivaju kontrolu ekscentričnog doskoka u vertikalnoj ravnini, važno je uključiti i vježbe ekscentrične kontrole horizontalnog doskoka kako bi se povećala specifičnost sila i zahtjeva posturalne kontrole pri kočenju tijekom horizontalne deceleracije. Jedan pristup za povećanje zahtjeva horizontalnih sila kočenja je korištenje asistiranog opterećenja pomoću kablovskih strojeva, motoriziranih uređaja za otpor ili elastičnih traka. Na primjer, značajno povećanje horizontalnih sila reakcije tla (GRF), bez povećanja vertikalnih GRF, zabilježeno je

u vježbi horizontalnog poskoka s zadržavanjem uz asistiranje opterećenje putem kablovskog stroja, s napredovanjem od 4% (608 N), 8% (654 N), 12% (717 N) i 16% (811 N) tjelesne mase. Autori su predložili da bi vježbe horizontalnog doskoka i zadržavanja bile korisni dodaci drugim vježbama horizontalne deceleracije (npr. unaprijed planirane ili neplanirane horizontalne deceleracije) za poboljšanje sposobnosti horizontalnog kočenja i za smanjenje rizika od ozljeda (npr. ACL) te u rehabilitacijske svrhe. Vježbe kontrole ekscentričnog doskoka mogu se lako integrirati u zagrijavanje na terenu ili u teretani (kako se obično viđa u programima za smanjenje rizika od ozljeda) ili izvoditi unutar glavne sesije treninga s otporom kao dio kompleksa kočenja ili tijekom odmora između serija. Slika 19 pruža pregled različitih varijabli koje se mogu manipulirati kako bi se povećala težina (tj. veća dinamička stabilizacija i zahtjevi kočenja pri doskoku) vježbi kontrole ekscentričnog doskoka (Harper DJ i sur., 2024).



Variables	DIFFICULTY		
Landing stance (points of contact)	Bilateral	Split stance	Unilateral
Plane of movement	Vertical	Horizontal (F, B, L)	Multi-planar (and rotational)
Speed of movement	Submaximal	Maximal	Overspeed
Compliance (C) / Stiffness (K)	High C / Low K	Medium C / Medium K	Low C / High K
Resistance (mass)	Body mass	Body mass +	Body mass ++
Vertical landing distance	Low	Medium	High
Horizontal landing distance	Low	Medium	High
Mechanical perturbation	None	Anticipated	Unanticipated
Neurocognitive demand	Low	Medium	High
Volume	Low	Medium	High
Surface and environment	Soft / Compliant		Hard / Non-compliant

*F = forward, B = backward, L = lateral*

Slika 19. Varijable koje se mogu mijenjati kako bi se povećala težina vježbi kontrole ekscentričnog doskoka. (Harper DJ i sur., *The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports*, 2024). (<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

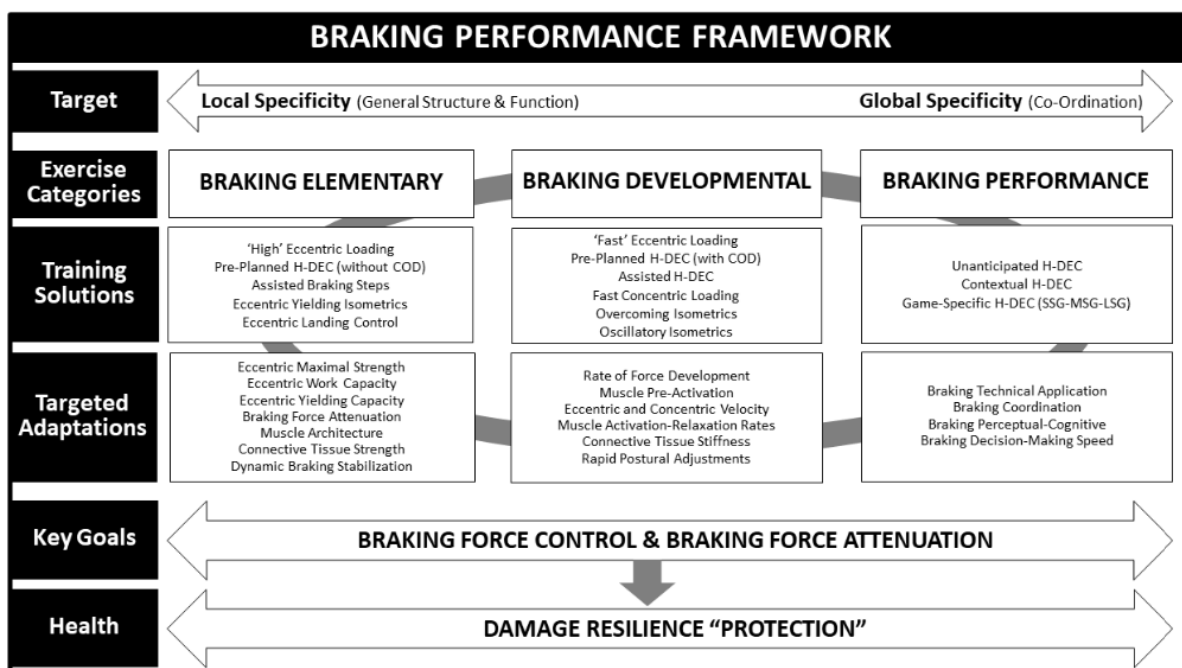
### 5.3. Progresivno opterećenje i specifične vježbe

Progresija, kada se pravilno primijeni, potiče dugoročne koristi od treninga. Iako je uobičajeno usredotočiti se samo na korištenje otpor, intenzitet treninga može se postupno povećavati povećanjem broja treninga u tjednu, dodavanjem više vježbi ili poligona u svaki trening, promjenom vrste ili tehničkih zahtjeva vježbi ili poligona, ili na drugi način povećanjem podražaja treninga. Na primjer, sportaš može napredovati od prednjeg čučnja do učenja hang

power clean-a, a zatim naposljetku do power clean-a kao tehničke progresije. Važno je da se progresija temelji na statusu sportaša u treningu te da se uvodi sustavno i postupno (Jeremy M. Sheppard i Travis Triplett, 2016).

Preopterećenje se odnosi na dodjeljivanje vježbanja ili programa treninga s većim intenzitetom nego što je sportaš naviknut. Bez podražaja preopterećenja, čak i inače dobro osmišljen program uvelike ograničava sposobnost sportaša da postigne napredak. Očita primjena ovog principa u dizajnu programa treninga s otporom uključuje povećanje opterećenja u vježbama. Druge, suptilnije promjene uključuju povećanje broja sesija tjedno (ili dnevno u nekim slučajevima), dodavanje vježbi ili serija, stavljanje naglaska na složene vježbe umjesto jednostavnih, smanjenje duljine odmora između serija i vježbi ili bilo koja kombinacija ovih ili drugih promjena. Namjera je stresirati tijelo na višoj razini nego što je naviklo. Kada se princip preopterećenja pravilno primijeni, izbjegava se pretreniranost i dolazi do željene prilagodbe treningu (Jeremy M. Sheppard i Travis Triplett, 2016).

Okvir izvedbe kočenja prepoznaje da se optimalan prijenos može postići kroz program strukturiranih, međusobno povezanih vježbi koje nastoje kombinirati principe tradicionalnog i



Slika 20. Okvir izvedbe kočenja. H-DEC = horizontalno usporavanje; COD = promjena smjera; SSG = igre na malom prostoru; MSG = igre na srednjem prostoru; LSG = igre na velikom prostoru. (Harper DJ i sur., *The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports*, 2024) (<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

koordinativnog preopterećenja, također poznatog kao pristup treningu „mješovitih metoda“. U skladu s tim, kategorije vježbi i metode treninga kreću se na kontinuumu od lokalne (npr. osnovne vježbe kočenja) do globalne (npr. vježbe izvedbe kočenja) specifičnosti, fokusirajući se na poboljšanje specifičnih strukturnih i funkcionalnih svojstava kočenja ili koordinacijskih vještina. Okvir za izvedbu kočenja razdvaja tri glavne kategorije vježbi: 1) osnovne vježbe kočenja, 2) razvojne vježbe kočenja i 3) vježbe izvedbe kočenja (Slika 20). Unutar svake kategorije vježbi, praktičari imaju fleksibilnost odabrati nekoliko metoda treninga za razvoj sposobnosti horizontalnog usporavanja kod sportaša (Harper DJ i sur., 2024).

Glavni cilj vježbi za razvoj kočenja je povećati sposobnost generiranja visokih sila kočenja u što kraćem vremenu (tj. 'visoki-tanki' impuls kočenja). Kao što je prethodno naglašeno, deceleracija zahtijeva visoko koordiniranu strategiju pokreta među i unutar ekstremiteta, što podrazumijeva brze kutne brzine zglobova i precizne sekvence aktivacije i opuštanja mišića kako bi se omogućilo generiranje stražnjih sila. Sukladno tome, intervencije u treningu koje mogu povećati ekscentrične i koncentrične kutne brzine zglobova te brzinu razvoja sile (RFD) važne su za uključivanje u kategoriju vježbi razvoja kočenja. Metode treninga unutar ove kategorije uključuju: 1) brzo ekscentrično opterećenje, 2) unaprijed planirane horizontalne deceleracije s promjenom smjera, 3) asistirane horizontalne deceleracije, 4) brzo koncentrično opterećenje, 5) izometrijske vježbe s prevladavanjem, i 6) oscilatorne izometrijske vježbe (Harper DJ i sur., 2024).

Pristupi treningu za brzo ekscentrično opterećenje uključuju: 1) pliometrijske vježbe (tj. skakanje, preskakanje i poskakivanje sa sporim ( $>0,25$  s) i brzim ( $<0,25$  s) zahtjevima ciklusa SSC-a, istezanje-skraćivanje), 2) izvedenice olimpijskog dizanja (tj. drop snatch, clean, jump shrug), i metode koje su opisali Handford i sur. za povećanje ekscentričnih brzina (tj. zahtjevi deceleracije), uključujući 3) ubrzano ekscentrično opterećenje (tj. elastične trake se koriste za ubrzavanje ekscentrične faze i otpuštaju prije koncentrične faze), i 4) submaksimalno naglašeno ekscentrično opterećenje (vježba ekscentrično-koncentričnog povezivanja s većom masom u ekscentričnoj nego u koncentričnoj fazi) (Harper DJ i sur., 2024).

Brza ekscentrična opterećenja, bilo da se izvode s ili bez pomoći traka, donose značajne prednosti u prilagodbi mišića u usporedbi sa sporim ekscentričnim opterećenjima. Konkretno, brzi ekscentrični čučnjevi s otprilike 70% 1RM značajno poboljšavaju duljinu fascikula i izometrijsku brzinu razvoja sile (RFD) u usporedbi sa sporijim ekscentričnim čučnjevim. Kombiniranje tih brzih ekscentričnih čučnjeva s skokovima iz čučnja s pripremom (CMJ) u niskovolumenskom, 6-tjednom programu treninga rezultira značajnim poboljšanjima u

ekscentričnom-kočnom RFD-u, CMJ konzistentnom vrhunskom snagom i hipertrofijom mišića (Harper DJ i sur., 2024).

Osim toga, ekscentrična opterećenja mogu se učinkovito povećati korištenjem elastičnih traka ili slobodnih utega, pružajući održivu alternativu tradicionalnim dubinskim doskocima (DJ). Na primjer, korištenje traka za ubrzano ekscentrično opterećenje s nižih visina pruža sličan ili čak superioran ekscentrični impuls i RFD u usporedbi s višim skokovima. Kratkotrajni trening s naglašenim ekscentričnim opterećenjima s umjerenih visina također poboljšava mjere neuromuskularne izvedbe kao što su CMJ ekscentrična vršna snaga i DJ indeks reaktivne snage (RSI), koji su ključni za horizontalno usporavanje. Ovi nalazi sugeriraju da takav trening ne samo da poboljšava performanse, već može pomoći i u prevenciji oštećenja mišića i očuvanju vrhunskih sposobnosti generiranja sile (Harper DJ i sur., 2024).

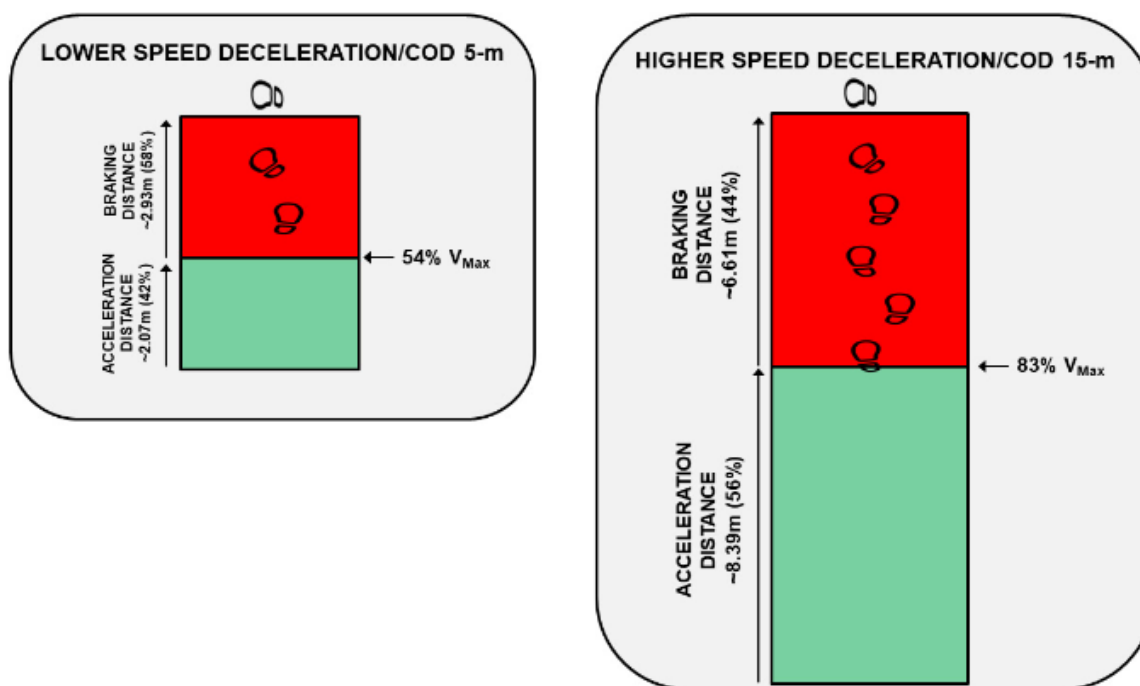
Novi motorni uređaji s otporom, poput 1080 Quantum synchro i 1080 Motion, nude preciznu kontrolu za naglašeno ekscentrično opterećenje tijekom dinamičkih pliometrijskih skokova. Za razliku od ručnih podešavanja otpora koja ometaju kontinuirana ponavljanja, ovi uređaji automatski prilagođavaju opterećenja između ekscentričnih i koncentričnih faza, omogućujući dosljedno i precizno ekscentrično opterećenje. Istraživanja pokazuju da korištenje ovih uređaja za ponovljene reaktivne skokove, zajedno sa sporim čučnjevima tijekom 8-tjednog razdoblja, dovodi do superiornih poboljšanja u izvedbi dubinskih saskoka (DJ) u usporedbi s vježbama s konstantnim opterećenjem ili olimpijskim dizanjem. Ovo je zbog visokih ekscentričnih kočnih sila i brzine razvoja sile (RFD) koje se generiraju tijekom reaktivnih ekscentričnih skokova.

Osim toga, izvođenje skokova iz čučnja s pripremom (CMJ) s konstantnim opterećenjem, uz umjerena do teška opterećenja, također može poboljšati ekscentričnu snagu i kapacitet kočenja maksimiziranjem ekscentričnog preopterećenja i vremena kočenja. Veći ekscentrični kočni zahtjevi postižu se kada se ovi skokovi izvode reaktivno, zbog veće potencijalne energije i momenta. Upute za maksimiziranje performansi tijekom ekscentrične faze kočenja, kao što je fokusiranje na brzinu i dubinu, također mogu poboljšati kočnu snagu u različitim skakačkim vježbama i kutovima zglobova (Harper DJ i sur., 2024).

Harper DJ i suradnici (2024) izvjestili su da u unaprijed planiranim promjenama smjera (COD), zahtjevi za usporavanje su ovisni o kutu skretanja i brzini prilaza. Veći kutovi COD-a i veće brzine prilaza zahtijevaju veće horizontalne kočne sile za usporavanje, što povećava mehaničko opterećenje i rizike od ozljeda, posebno koljena. Stoga bi trening za horizontalno usporavanje trebao biti usmjeren na oštre kutove COD-a koji zahtijevaju značajno kočenje. Na primjer,

kutovi veći od 60° zahtijevaju značajno kočenje, slično scenariju "crvenog svjetla"(slika 21), gdje su potrebni višestruki kočni koraci prije ponovnog ubrzavanja.

Brzina prilaza također utječe na zahtjeve za kočenje; dulji prilaz (15 m) prije skretanja od 180° zahtijeva kočenje s većih brzina i više koraka u usporedbi s kraćim prilazom (5 m). Istraživanja pokazuju da u COD-u od 180° s dugim prilazom, kočne sile u koraku neposredno prije



Slika 21. Usporedba zadatka promjene smjera (COD) od 180° s prilazima od 5 m i 15 m. Približne brzine prilaza, udaljenosti kočenja i broj koraka kočenja preuzeti iz rada Graham-Smith et al. (2018) i Falch et al. (2020). V<sub>Max</sub> = Maksimalna brzina postignuta prije početka usporavanja, Zeleno = udaljenost ubrzanja, Crveno = udaljenost kočenja (Harper DJ i sur., *The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports*, 2024).

<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

posljednjeg koraka su važnije za izvedbu nego u preposljednjem koraku, koji služi više kao pozicijska prilagodba. S druge strane, s kraćim prilazom, preposljednji korak ima značajniju ulogu u kočenju i ukupnoj izvedbi (Harper DJ i sur., 2024).

Učinkovit trening trebao bi uključivati različite kutove COD-a i brzine, uključujući visoke i niske brzine. Sportaši bi trebali vježbati oštre COD-ove i pri maksimalnim i sub-maksimalnim brzinama kako bi se prilagodili različitim zahtjevima kočenja. Sportaši bi trebali trenirati i usporavanja i COD-ove iz različitih tjelesnih položaja (bočno, unatrag) koji su relevantni za njihov sport (Harper DJ i sur., 2024).

Slično asistiranim horizontalnim kočnim koracima opisanim u osnovnoj kategoriji kočenja, asistirana horizontalna usporavanja izvode se s asistiranim opterećenjima (npr. korištenjem elastičnih traka i motornih otpornih uređaja) kako bi se povećali zahtjevi za horizontalnim usporavanjem i kočenjem. Međutim, za razliku od asistiranih kočnih koraka, asistirana horizontalna usporavanja zahtijevaju generiranje kočnih sila pri bržim brzinama kretanja i s kraćim vremenima kontakta tla (GCT), čime se izaziva brzina koordinacije između udova i unutar udova te horizontalni RFD. Asistirana horizontalna usporavanja mogu se unaprijediti ili smanjiti manipuliranjem udaljenošću i brzinom pristupa prije usporavanja, kutom COD-a, ili uz asistirano opterećenje ili s vanjskim opterećenjem. Novi motorni otporni uređaji također omogućuju propisivanje asistiranog opterećenja u fazi usporavanja, prije prelaska na lakše otporno opterećenje u fazi ponovnog ubrzanja zadatka COD-a (Slika 22). Ova primjena slična je primjenama naglašenog ekscentričnog opterećenja u vertikalnoj ravnini kako bi se naglasila faza usporavanja (ekscentrična) prije prelaska na lakše opterećenje u fazi ponovnog ubrzanja (koncentrična) (Harper DJ i sur., 2024).



Slika 22. Asistirano horizontalno usporavanje tijekom zadatka promjene smjera od 180°. Asistencija se generira pomoću motoriziranog uređaja za otpor tijekom faze usporavanja, prije automatskog prelaska na lakše opterećenje prilikom izvođenja koraka okretanja i ponovnog ubrzanja. (Harper DJ i sur., *The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports*, 2024). (<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

Nedavne studije su otkrile povezanost između koncentrične sile pri većim kutnim brzinama koljena i sposobnosti horizontalnog usporavanja, što ranije nije bilo prepoznato kao važan faktor. Iako poboljšanje ekscentrične sile može pojačati koncentričnu silu u pokretima koji uključuju obje faze, praktičari bi se također trebali usredotočiti na strategije za povećanje koncentrične sile pri visokim brzinama zglobova. Jedan učinkovit pristup je asistirani trening skokova, koji omogućava veće brzine zglobova u usporedbi s korištenjem tjelesne mase ili težih opterećenja. Ovaj trening s "prebrzom" stimulacijom posebno je koristan za sportaše s

deficitom u brzini, značajno poboljšavajući brzinu donjih udova i sposobnosti skakanja. Dodatno, trening otpora temeljen na brzini, koji naglašava održavanje velike brzine pokreta tijekom ponavljanja, može poboljšati brzu proizvodnju sile, što je ključno za zadatke usporavanja (Harper DJ i sur., 2024).

Nadalje Harper DJ i sur. (2024.) navode da savladavajuće izometrijske vježbe (slika 23), poznate i kao izometrijske akcije "guranje" ili "povlačenje", uključuju sportaše koji guraju ili povlače stabilni objekt u specifičnim položajima i kutovima zglobova. Postoje dvije glavne



*Slika 23. Izometrijska vježba savladavanja specifična za kočenje, izvedena u položaju horizontalne deceleracije. (Harper DJ i sur., *The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports*, 2024). (<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)*

vrste: (1) eksplozivne kontrakcije koje su kratke (~1 s) s kratkim periodima opuštanja, i (2) održane kontrakcije koje traju duže (~4 s) s varijabilnim odmorom. Eksplozivne izometrijske vježbe poboljšavaju rani razvoj sile (RFD) i ukočenost tetiva, dok održane izometrijske vježbe potiču hipertrofiju mišića i ukočenost tetiva. Ove prilagodbe ključne su za brzo kočenje u sportu, jer poboljšavaju generiranje sile i apsorpciju udaraca tijekom intenzivnih pokreta.

Trening je najučinkovitiji pri kutovima zglobova na kojima se vježba, pa bi sportaši, kako bi poboljšali sposobnost kočenja, trebali vježbati u položajima koji oponašaju pozicije tijekom kočenja. Ciljanje specifičnih mišića, poput plantarnih fleksora gležnja (soleus i gastrocnemius), može dodatno poboljšati sposobnost kočenja povećavanjem apsorpcije sile pri kontaktu s tlom.



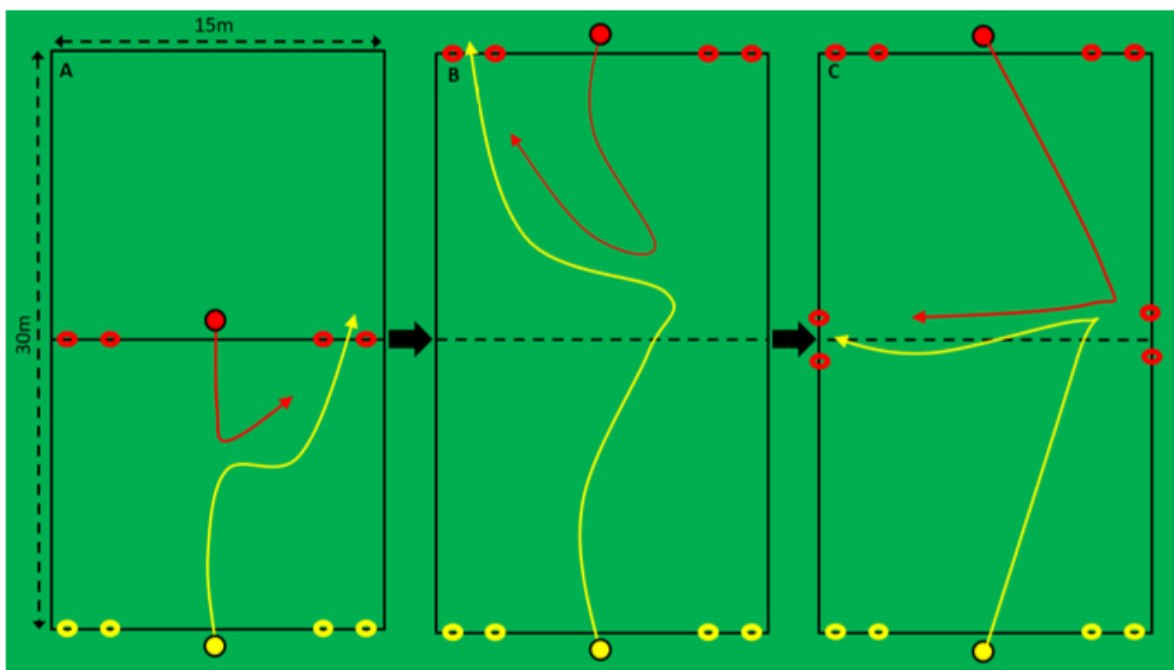
Metoda koja kombinira eksplozivne i održane kontrakcije također se može koristiti za postizanje visokih izometrijskih sila. Preporučuju se alati za biofeedback, poput dinamometara ili platformi za mjerenje sile, kako bi se pratila intenzivnost vježbi i pružila vanjska motivacija (Harper DJ i sur., 2024).

Oscilatorne izometrijske vježbe uključuju aktivne, intenzivne oscilatorne pokrete guranja i povlačenja. Slično kao kod savladavajućih izometrijskih vježbi, ove vježbe ciljaju specifične položaje tijela i zglobova prisutne tijekom deceleracije te uključuju brzu regrutaciju motoričkih jedinica. Aktivni pokreti guranja i povlačenja u oscilatornim izometrijama stvaraju impulsne kontrakcije koje mogu pomoći u sprječavanju umora održavanjem transporta metabolita koji se smatraju uzrokom umora kod ekscentričnih izometrijskih opterećenja, dok istovremeno zahtijevaju veće stope aktivacija motoričkih jedinica, što može utjecati na maksimalnu stopu razvoja sile (RFD). Nadalje, izvođenjem oscilacija pri dugim duljinama mišića, gdje postoji kontraktilni nedostatak, postiže se veća neuralna aktivacija, uz povećan stres i naprezanje pasivnih elastičnih struktura. S obzirom na to da horizontalne deceleracije zahtijevaju brze stope aktivacije i opuštanja mišića, kao i pomoć vezivnog tkiva u apsorpciji sila kočenja, oscilatorne izometrijske aktivnosti predstavljaju korisnu opciju treninga za razvoj tih specifičnih neuralnih i mehaničkih svojstava (Harper DJ i sur., 2024).

#### 5.4. Integracija deceleracije u cjelokupni trenažni proces

Važan cilj vježbi za poboljšanje sposobnosti kočenja jest unaprijediti vještine kočenja u uvjetima specifičnim za natjecateljsko okruženje (tj. kočenje reprezentativno za igru). Stoga su opcije treninga u kategoriji vježbi za kočenje osmišljene kako bi se poboljšala sposobnost horizontalnog usporavanja korištenjem zadataka i ograničenja specifičnih za natjecateljsko kočenje zahtijevaju od igrača da koriste perceptualne informacije kako bi donosili brze odluke o strategijama kočenja koje će se primijeniti za postizanje maksimalnih rezultata u zadatku (tj. brzina igre) (Harper DJ i sur., 2024).

Harper DJ i suradnici (2024.) izvjestili su da nepredviđena horizontalna usporavanja (tj. agilnost) osmišljena s izazovima višesmjernog, linearnog ili krivolinijskog kretanja, ili okruženja, uključujući 1) nepredviđena horizontalna usporavanja, 2) kontekstualna horizontalna usporavanja i 3) horizontalna usporavanja specifična za igru. Sve ove vježbe



Slika 24. Nepredviđena horizontalna usporavanja programirana i napredovana pomoću igre izbjegavanja 1 na 1. Cilj igre je da napadač (žuti krug) izbjegne braniča (crveni krug) prolazeći kroz crvena vrata (crveni krug). (A) Horizontalno usporavanje pri nižoj brzini. Područje je ograničeno na 15 x 15 m. (B) Horizontalno usporavanje pri većoj brzini. Zadatak je otežan povećanjem duljine područja na 30 m, što omogućuje horizontalna usporavanja i promjene smjera pri većim brzinama. (C) Horizontalno usporavanje pri većoj brzini s oštrijom promjenom smjera ( $>60^\circ$ ). Napadač ima više opcija za izbjegavanje braniča postavljanjem dodatnih vrata na sredini terena. Napadaču je također zadano da mora proći središnju liniju kako bi postigao pogodak kroz ta vrata, s ciljem postizanja većih brzina i veće prilike za brzo horizontalno usporavanje i oštre ( $>60^\circ$ ) promjene smjera (*Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024*)(<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

kombinacijama istih, s ofenzivnim ciljevima (npr. stvaranje prostora/izbjegavanje) ili defenzivnim ciljevima (npr. zatvaranje prostora/proganjanje), ali bez integracije tehničkih vještina specifičnih za sport. Ova vježba može uključivati igre agilnosti (npr. vježbe lovljenja i izbjegavanja), trening s partnerom (poznat i kao zrcalne vježbe), invazijske igre (npr. 1vs1, 2vs2) i zadatke promjene smjera koji zahtijevaju reakciju na vanjske podražaje (vizualne, taktilne ili slušne). Ključni zahtjev nepredviđenih horizontalnih usporavanja je predviđanje i

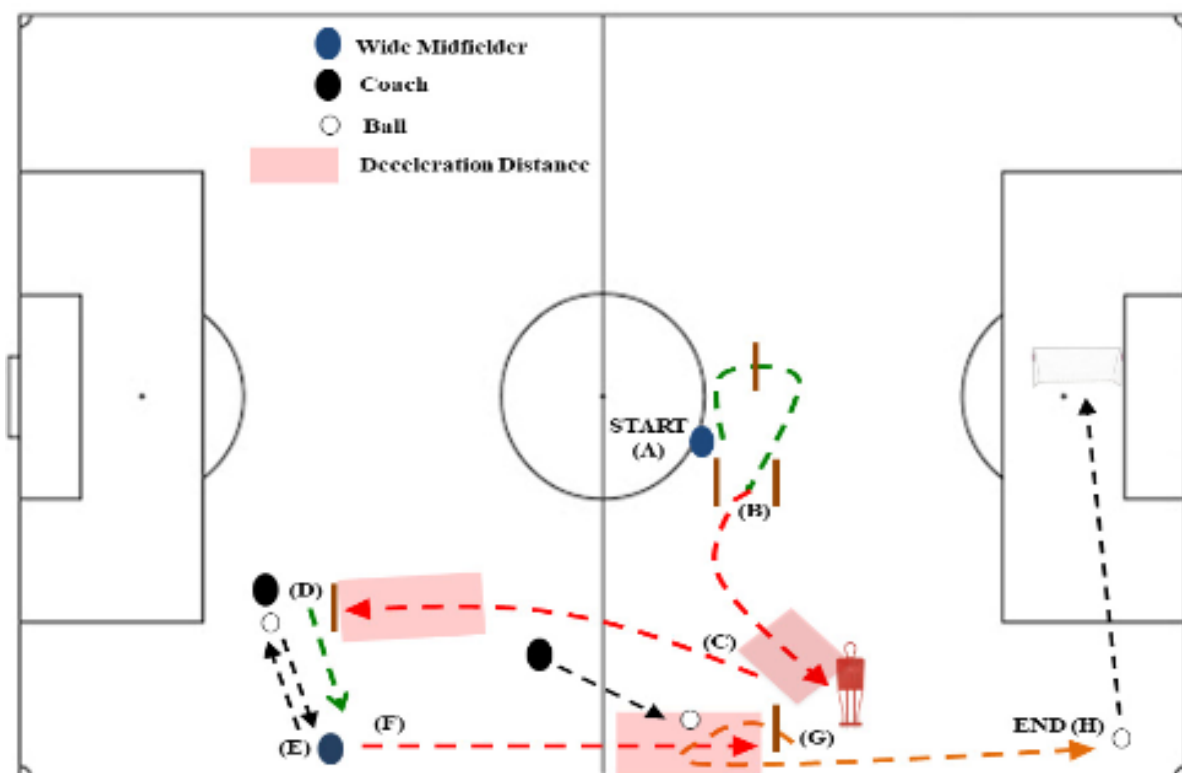
reakcija na ljudske ili sportske podražaje. Ovo zahtijeva od sportaša precizno reguliranje sile horizontalnog kočenja i usporavanja u odnosu na promjenjive brzine kretanja i prostorne i vremenske uvjete (Slika 24).

Dodatni cilj ovih vježbi je poboljšanje anticipacijskih vještina (npr. korištenje naprednih znakova) i brzine donošenja odluka, kako bi sportaš imao više vremena za pripremu i koordinaciju tijela te generiranje jačih i bržih sila kočenja, što omogućava brža i preciznija horizontalna usporavanja. Važno je osmisliti izazove nepredviđenog horizontalnog usporavanja u ofenzivnim i defenzivnim situacijama, budući da različiti biomehanički i perceptualno-kognitivni zahtjevi mogu utjecati na sposobnost kočenja i ukupne performanse kretanja (tj. prilagodba okolnostima) (Harper DJ i sur., 2024).

Praktičari bi trebali osmisliti i sustavno otežavati nepredviđena horizontalna usporavanja manipulirajući ključnim ograničenjima okruženja (npr. pravilima zadatka) kako bi se omogućilo željeno usporavanje. Na primjer, za povećanje intenziteta ovih vježbi, može se manipulirati dizajnom kako bi se potaknula nepredviđena horizontalna usporavanja pri većim brzinama kretanja ili većim kutovima promjene smjera. Također, slično planiranim horizontalnim usporavanjima, mogu se koristiti opterećenja poput prsluka s utezima ili lakih otpora na specifičnim dijelovima tijela kako bi se povećali neuromišićni i mehanički zahtjevi pod specifičnim uvjetima kretanja. Za povećanje tolerancije na opterećenje kočenja, praktičari bi trebali dizajnirati treninge s velikom gustoćom nepredviđenih usporavanja (npr. broja po minuti) kako bi sportaši bili spremni za vrhunske zahtjeve natjecanja (Harper DJ i sur., 2024). Kontekstualna horizontalna usporavanja imaju za cilj stvoriti obrasce kretanja koji uključuju specifična usporavanja u igri u kombinaciji s tehničkim i taktičkim ciljevima tijekom igre, kako u fazi napada, tako i u fazi obrane, što je poznato kao integrirani pristup. Sesije kontekstualnih horizontalnih usporavanja pri većim brzinama sprinta, tranzicijske igre mogu poticati brzu obrambenu reorganizaciju ili protunapade (Harper DJ i sur., 2024).

Da bi se osiguralo da su igrači optimalno pripremljeni za intenzitet i učestalost horizontalnih usporavanja koji se mogu dogoditi tijekom igre, treneri bi trebali replicirati ili postupno povećavati zahtjeve usporavanja. Na primjer, u nogometu je zabilježeno da sve pozicije moraju izvesti 4 do 5 usporavanja visokog intenziteta ( $> -3 \text{ m/s}^2$ ) u minuti tijekom najzahtjevnijih dijelova igre (Harper DJ i sur., 2024).

Primjer vježbe specifične za poziciju ilustriran je tehničkim i taktičkim akcijama koje izvode bočni vezni igrači dok su s loptom ili bez nje (Slika 25). Ova sekvenca pokreta također se može



Slika 25. Kontekstualna vježba usporavanja specifična za poziciju bočnog veznog igrača. Sekvence kretanja A, B i C izvode se kada igrač nije u posjedu lopte, dok se D, E, F, G i H izvode kada je igrač u posjedu lopte. A = početak u srednjoj trećini terena s laganim trkom prema bočnom kretanju, B =  $\sim 90^\circ$  okret s kružnim sprintom do visokointenzivnog usporavanja (taktički cilj: zatvoriti protivničkog igrača), C =  $\sim 90-180^\circ$  okret s kružnim sprintom do visokointenzivnog usporavanja (taktički cilj: pratiti prodor protivnika kroz sredinu), D =  $\sim 90-180^\circ$  okret u kretanje unatrag, E = brzi pas iz prve, F =  $\sim 90-180^\circ$  okret u sprint uz liniju do visokointenzivnog usporavanja (taktički cilj: preklapanje), G =  $\sim 90-180^\circ$  okret za primanje lopte i dribling uz liniju, H = završava s ubačajem u mini-gol (*Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024*).

(<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

podijeliti na izolirane vježbe usporavanja ili integrirati različite dijelove sekvence, uz dodavanje vanjskih podražaja kako bi igrač morao reagirati na akcije protivnika. Na primjer, defenzivni pritisak može se izvesti protiv protivnika koji može driblati uz liniju ili ući u teren, što predstavlja scenarij koji se često događa tijekom ozljeda ACL-a kod nogometaša (Slika 26) (Harper DJ i sur., 2024).

Ove aktivnosti kontekstualnog horizontalnog usporavanja mogu pomoći igračima u razvijanju anticipacijskih i neurokognitivnih vještina koje su potrebne za smanjenje rizika od ozljede ACL-a kada protivnik napravi kasni vizualni ometajući pokret (Harper DJ i sur., 2024).

#### **In Possession (Offensive)**

Break into box	Player runs into penalty box and decelerates to create space
Overlap	Player runs from behind to in front of, or parallel to player on ball before <b>decelerating</b> to create space to receive the ball
Push-up pitch	Player runs up the pitch to support the play before <b>decelerating</b> to create space to receive ball or attain a tactical position
Drive through middle	Player runs through middle of pitch before <b>decelerating</b> to create space or to change direction to penetrate different area of opposition territory
Drive inside the pitch	Player runs to middle of the pitch before <b>decelerating</b> to receive pass or change direction to create space
Run the channel	Player runs down the channel to one of the external areas of the pitch before <b>decelerating</b>
Run in behind	Player aims to beat opposition offside trap by performing a <b>deceleration</b> before sprinting towards opposition goal

#### **Out Of Possession (Defensive)**

Closing down (pressing)	Player runs directly towards opposition player before <b>decelerating</b> to attempt to tackle, press, block, or hold up play (delay)
Interception of pass	Player runs before <b>decelerating</b> to intercept a pass
Covering	Player runs to cover space or a player on the pitch whilst remaining goal side, before performing a <b>deceleration</b> in response to opposition player movement / to maintain defensive line (off-side trap)
Track runner	Player runs alongside opposition player with or without the ball, before <b>decelerating</b> in response to opposition movement / to maintain defensive line (off-side trap)
Ball over the top	Player runs after opposition pass over defence through middle of pitch before <b>decelerating</b> to retain possession or respond to opposition players
Ball down the side	Player runs after opposition pass over top of downside of the flank before <b>decelerating</b> to retain possession or respond to opposition players
Recovery run	Player runs back towards own goal when out of possession before <b>decelerating</b> to be goal side / to maintain defensive line (off-side trap)

Slika 26. Kontekstualni sustav klasifikacije za horizontalnih usporavanja koja se susreću tijekom specifičnih scenarija utakmica u nogometu, dok je igrač u posjedu lopte (napad) i izvan posjeda (obrana) (Harper DJ i sur., *The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports*, 2024). (<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

Specifična usporavanja vezana za igru su 'modificirane' verzije formalnih natjecateljskih igara, često poznate kao igre u malom prostoru. U timskim sportovima poput nogometa, ove igre se dodatno opisuju kao igre na malom prostoru (SSG; 1vs1 do 4vs4), igre na srednjem prostoru (MSG; 5vs5 do 8vs8) i igre na velikom prostoru (LSG; 9vs9 do 11vs11), ovisno o broju igrača i veličini igrališta. Glavni cilj horizontalnih usporavanja specifičnih za igru je razviti sposobnosti igrača za usporavanja specifična za igru kroz zadatke koji su vrlo reprezentativni za natjecateljsko okruženje. Sukladno tome, sportski specifične informacije i individualne

sposobnosti igrača utječu na njihove manevre usporavanja, s ciljem poboljšanja tehničkih i taktičkih elemenata igre (Harper DJ i sur., 2024).

Manipuliranjem specifičnih zadataka vezanih za igru, treneri mogu ciljati različite horizontalne sposobnosti usporavanja koje su važne za natjecateljske utakmice, dok istovremeno potiču tehnički i taktički razvoj te povećavaju motivaciju i angažiranost. U primjeru nogometa, SSG i MSG igre s manjim brojem igrača i igrališta mogu povećati učestalost visokointenzivnih usporavanja ( $> -3m.s-2$ ) i povezanih tehničkih akcija u usporedbi s prosječnim i najzahtjevnijim dijelovima igre tijekom natjecanja. Međutim, treneri bi trebali biti svjesni da SSG igre (npr. intenzivno kondicijsko treniranje) možda ne pružaju dovoljno prilika za usporavanja pri višim brzinama trčanja, koja imaju drugačije neuromuskularne i mehaničke zahtjeve (Harper DJ i sur., 2024).

S druge strane, LSG igre (npr. ekstenzivno kondicijsko treniranje) na većim igralištima omogućuju igračima postizanje viših i učestalijih maksimalnih vrijednosti usporavanja nego SSG igre. Alternativna strategija za postizanje brzih horizontalnih usporavanja korištenjem SSG-a bila bi povećanje igrališta, čime bi se igračima omogućilo postizanje većih brzina trčanja prije usporavanja. Također, treneri bi trebali pažljivo razmotriti omjere rada i odmora te broj serija, jer je zabilježeno da duža trajanja i veća učestalost serija smanjuju broj visoko intenzivnih usporavanja (Harper DJ i sur., 2024).

S obzirom na veliku varijabilnost između i unutar različitih pozicija u učestalosti visoko intenzivnih usporavanja tijekom različitih formata igara, može biti potrebno dodatno visoko intenzivno treniranje usporavanja kao nadopuna, slično praksama koje se koriste za trčanje velikom brzinom. Međutim, minimalna učinkovita doza trenutno nije poznata, pa je to važno područje za buduća istraživanja. Stoga bi treneri trebali pratiti akutna i kronična opterećenja usporavanja kako bi potencijalno zaštitili igrače od ozljeda (Harper DJ i sur., 2024).

Strategija programiranja koju praktičari mogu razmotriti je korištenje 'kompleksa za usporavanje', koji povezuju različite kombinacije vježbi i metoda treninga opisanih u Okviru za izvedbu usporavanja (Slika 21). Kompleksi za usporavanje uključuju one koje su predložili Cormier i sur. (2022), uključujući 1) Kontrast-kompleks, 2) Uzlazni-kompleks, 3) Silazni-kompleks, i 4) Kompleks-francuskog kontrasta, uz dodatak 5) Adaptivni-kompleks koji su predložili Schaefer i Bittman (2019). Adaptivni kompleks razlikuje se od mnogih

TRAINING TERMINOLOGY	Training Description	Exercise Intensity	Recovery Interval	Example Vertical Braking Focus	Example Horizontal Braking Focus
<b>BRAKING COMPLEXES</b>	General aim is to enhance different strength and skill qualities required for braking during horizontal deceleration.				
<b>Contrast</b>	Alternating high-load and low load (higher-velocity) exercises in a set-by-set fashion.	<ul style="list-style-type: none"> <li>High load/low speed (0-85% 1RM)</li> <li>Low load/high speed (BM to 60% 1RM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intra-contrast rest: Strong (5-7 mins)</li> <li>Recreational (&gt;8 mins)</li> <li>Inter-set rest: 3-4 mins</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>RFE SS (80% 1RM)</li> <li>Drop lunge (20% 1RM)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Heavy assisted braking steps (50-75% BM)</li> <li>Assisted hop &amp; stick (5% BM)</li> <li>5% BM)</li> </ol>
<b>Ascending</b>	Sets of low-load, higher-velocity exercises before high-load exercises within same session.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low load/high speed (BM to 60% 1RM)</li> <li>High load/low speed (&gt;85% 1RM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3-4 mins between sets</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Drop lunge (20% 1RM)</li> <li>Drop lunge (20% 1RM)</li> <li>RFE SS (80% 1RM)</li> <li>RFE SS (80% 1RM)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Hop &amp; stick (5% BM)</li> <li>Hop &amp; stick (5% BM)</li> <li>Assisted braking steps (75% BM)</li> <li>Assisted braking steps (75% BM)</li> </ol>
<b>Descending</b>	Sets of high-load exercise before low-load, higher velocity exercises within same session.	<ul style="list-style-type: none"> <li>High load/low speed (&gt;85% 1RM)</li> <li>Low load/high speed (BM to 60% 1RM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3-4 mins between sets</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>RFE SS (80% 1RM)</li> <li>RFE SS (80% 1RM)</li> <li>Drop lunge (20% 1RM)</li> <li>Drop lunge (20% 1RM)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Heavy assisted braking steps (50-75% BM)</li> <li>Heavy assisted braking steps (50-75% BM)</li> <li>Hop &amp; stick (5% BM)</li> <li>Hop &amp; stick (5% BM)</li> </ol>
<b>French Contrast</b>	Series of four exercises performed in sequence within same session: <ol style="list-style-type: none"> <li>Heavy compound</li> <li>Plyometric</li> <li>Light-to-moderate compound</li> <li>Plyometric or overspeed</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Heavy compound (80-90% 1RM*) or variable eccentric</li> <li>Plyometric/Landing (BM)</li> <li>Low-to-moderate compound (20-40% 1RM) or variable eccentric</li> <li>Plyometric/Landing (overspeed/assisted)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Between exercises (0-20s)</li> <li>Between series/sets (4-8 mins)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Flywheel squat</li> <li>20cm DJ (BM)</li> <li>Drop squat (30%)</li> <li>ACEL CMJ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Flywheel pulley brake step (50-75% BM)</li> <li>Horizontal jump and stick (BM)</li> <li>Heavy assisted braking steps (50-75% BM)</li> <li>Assisted horizontal deceleration (10% BM)</li> </ol>
<b>Adaptive</b>	Fast eccentric exercise performed immediately after isometric exercise	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pushing isometric (30-100% MVC)</li> <li>Fast eccentric (BM-75% 1RM)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intra-exercise (0-5s)</li> <li>Between sets (3-5 mins)</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Isometric RFE SS (90-100% MVC)</li> <li>RFE SS drop (BM-20% 1RM)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Isometric braking stance (90-100% MVC)</li> <li>Assisted hop and stick (12% BM assisted)</li> </ol>

RM = repetition maximum; BM = body mass; MVC = maximum voluntary contraction; RFE = rear foot elevated; SS = split squat

Slika 27. Kompleksi kočenja s primjerima vertikalno i horizontalno usmjerenih vježbi. (Harper DJ i sur., *The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports*, 2024). (<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

tradicionalnih metoda kompleksnog treninga po tome što izometrička mišićna akcija neposredno prethodi ekscentričnoj mišićnoj akciji, stvarajući jedinstvenu karakteristiku nazvanu adaptivna sila. Smatra se da je adaptivna sila koordinativna senzomotorna kvaliteta koja može ‘povećati’ ekscentrične sile kočenja i poboljšati sposobnost prilagodbe na različite vanjske sile. Povećana sila zabilježena je zbog većeg produljenja fascikula tijekom aktivnog istezanja (tj. ekscentrične mišićne akcije) u usporedbi s ekscentričnom mišićnom akcijom bez izometričke pre-aktivacije. Slika 27 pruža pregled svake od strategija treninga kompleksa za usporavanje, zajedno s primjerom vertikalno i horizontalno orijentiranog slijeda vježbi za svaki kompleks usporavanja (Harper DJ i sur., 2024).

Raspon rješenja za trening unutar svake kategorije vježbi za usporavanje pruža trenerima niz opcija za ciljanje specifičnih fizičkih i tehničkih kvaliteta koje su važne za poboljšanje maksimalne horizontalne sposobnosti usporavanja. Međutim, okvir za usporavanje predviđa da će se, kako bi se optimizirao prijenos na sposobnost horizontalnog usporavanja, primijeniti vertikalno integrirani, komplementarni pristup „mješovitim metodama“, koji kombinira rješenja iz svake kategorije vježbi za usporavanje, s prioritetima i gustoćom treninga koji će se mijenjati tijekom sezone ovisno o potrebama pojedinačnog igrača. Na primjer, tijekom

pripremne faze sezone, veći volumen rada može biti posvećen rješenjima iz osnovne kategorije vježbi za usporavanje koje razvijaju maksimalnu ekscentričnu snagu i strukturalne kapacitete mišićno-tetivnih jedinica kako bi se ublažile sile usporavanja. To se može postići kombiniranjem terenskih vježbi usporavanja, kao što su asistirani koraci usporavanja i unaprijed planirana horizontalna usporavanja, s vježbama poput „flywheel“ treninga i izometrijskog „yieldinga“. Slika 28 prikazuje hipotetski primjer mikro-ciklusa pripremnog perioda koji obuhvaća principe okvira za usporavanje za nogometaša koji želi poboljšati

TRAINING PRIORITY	BRACING ELEMENTARY						
	BRACING DEVELOPMENTAL			BRACING PERFORMANCE			
	ACTIVE RECOVERY	INTENSIVE	EXTENSIVE	TECHNICAL-TACTICAL	TECHNICAL-TACTICAL	Saturday (MD)	Sunday (MD+1)
	Monday (MD +2)	Tuesday (MD -4)	Wednesday (MD-3)	Thursday (MD-2)	Friday (MD-1)		
KEY TRAINING GOALS	<ul style="list-style-type: none"> <li>Braking stabilization</li> <li>Eccentric yielding</li> <li>Tendon stiffness</li> <li>ROM</li> <li>Reduce DOMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Braking stabilization</li> <li>Eccentric-braking strength</li> <li>Repeated DEC (braking load tolerance)</li> <li>Braking technical ability</li> <li>Braking PC</li> <li>Braking DMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eccentric velocity</li> <li>Braking RFD</li> <li>Braking pre-activation</li> <li>Braking technical ability</li> <li>Braking PC</li> <li>Braking DMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Braking PC</li> <li>Braking technical ability</li> <li>Braking DMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Braking PC</li> <li>Braking technical ability</li> <li>Braking DMS</li> </ul>	MATCH DAY (GS-DEC)	PASSIVE RECOVERY INTERVENTIONS
BRACING ELEMENTARY EXERCISES	GYM <ul style="list-style-type: none"> <li>ECC landing control (V)</li> <li>ECC yielding ISO (LY)</li> </ul>	GYM <ul style="list-style-type: none"> <li>ECC landing control (H)</li> <li>HEL (flywheel++ , V/H/I*)</li> <li>FIELD</li> <li>Assisted braking steps</li> <li>PP-DEC (low speeds)</li> </ul>	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>PP-DEC (high speeds*)</li> </ul>	GYM <ul style="list-style-type: none"> <li>ECC yielding ISO (HY)</li> <li>HEL (flywheel+ , V)</li> </ul>			
BRACING DEVELOPMENTAL EXERCISES					FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>UA DEC (agility/mirror games)</li> </ul>		
BRACING PERFORMANCE EXERCISES	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>Contextual DEC (tempo circuit)</li> <li>Game specific DEC (MSGs, PO/FL/Z*)</li> </ul>	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>Isolated contextual DEC (lower speeds*)</li> <li>Game specific-DEC (SSGs with GK*)</li> </ul>	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>Contextual DEC (higher speeds -TG*)</li> <li>Game specific DEC (LSGs with GK*)</li> </ul>	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>Game specific DEC (MSG-LSGs with GK)</li> </ul>	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>Contextual DEC (team formation, set pieces)</li> </ul>		
DECELERATION FREQUENCY							
DECELERATION INTENSITY							

Slika 28. Primjer pripremnog mikro-ciklusa koji obuhvaća principe okvira za razvoj sposobnosti usporavanja (*Harper DJ i sur., The Bracing Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports, 2024*). (<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

višesmjernu brzinu, a koji je kroz testiranje i trening identificiran kao igrač s potrebom za poboljšanjem svojih sposobnosti horizontalnog usporavanja i performansi kod kočenja. Dakle, primarni naglasak stavlja se na rješenja treninga koja unapređuju ove kvalitete (Harper DJ i sur., 2024).

Tijekom sezone, veći naglasak može biti stavljen na razvojne vježbe za usporavanje i vježbe performansi. Ekscentrična i izometrijska snaga te prilagodbe mišićno-tetivne jedinice ostvarene u pripremnom bloku mogu postaviti temelje za vježbe, poput "brzih" ekscentričnih opterećenja, uz kontekstualizirane i nasumične horizontalne kretnje koje uključuju veće početne brzine (povećane udaljenosti) i kutove promjene smjera (COD), čime se pojačavaju



zahtjevi za usporavanjem. Slika 29 daje primjer mikro-ciklusa performansi u sezoni koji obuhvaća principe okvira za usporavanje za istog igrača (Harper DJ i sur., 2024).

TRAINING PRIORITY	BRAKING ELEMENTARY						
	BRAKING DEVELOPMENTAL						
	BRAKING PERFORMANCE						
	ACTIVE RECOVERY	INTENSIVE	EXTENSIVE	TECHNICAL-TACTICAL	TECHNICAL-TACTICAL	Saturday (MD)	Sunday (MD+1)
	Monday (MD +2)	Tuesday (MD -4)	Wednesday (MD-3)	Thursday (MD-2)	Friday (MD-1)		
KEY TRAINING GOALS	<ul style="list-style-type: none"> <li>ROM</li> <li>Reduce DOMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ECC-braking strength</li> <li>Tendon stiffness</li> <li>Repeated DEC (braking load tolerance)</li> <li>Braking RFD</li> <li>Braking technical ability</li> <li>Braking PC</li> <li>Braking DMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Braking pre-activation</li> <li>Braking RFD (V+H)</li> <li>Tendon stiffness</li> <li>ECC velocity</li> <li>Braking technical ability</li> <li>Braking PC</li> <li>Braking DMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Braking PC</li> <li>Braking technical ability</li> <li>Braking DMS</li> <li>CON velocity</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Braking PC</li> <li>Braking technical ability</li> <li>Braking DMS</li> </ul>	MATCH DAY (GS-DEC)	PASSIVE RECOVERY INTERVENTIONS
BRAKING ELEMENTARY EXERCISES		GYM <ul style="list-style-type: none"> <li>HEL (flywheel++, V/H)</li> </ul>		GYM <ul style="list-style-type: none"> <li>ECC Yielding ISO (MY-HY*)</li> </ul>			
BRAKING DEVELOPMENTAL EXERCISES		GYM <ul style="list-style-type: none"> <li>Overcoming ISO*</li> <li>FEL (ACEL/AEL*)</li> </ul>	GYM <ul style="list-style-type: none"> <li>Overcoming ISO*</li> <li>FEL (Plyometric*)</li> <li>FIELD</li> <li>Assisted DEC/COD</li> </ul>	GYM <ul style="list-style-type: none"> <li>Fast CON load*</li> </ul>	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>UA DEC (agility/mirror games)</li> </ul>		
BRAKING PERFORMANCE EXERCISES	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>Contextual DEC (tempo circuit)</li> <li>Game specific DEC (MSGs, PO/FLZ)</li> </ul>	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>Contextual DEC (lower speeds)</li> <li>Game specific-DEC (SSGs with GK)</li> </ul>	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>Contextual DEC (higher speeds -TG)</li> <li>Game specific DEC (LSGs with GK)</li> </ul>	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>Game specific DEC (MSG-LSGs with GK)</li> </ul>	FIELD <ul style="list-style-type: none"> <li>Contextual DEC (team formation, set pieces)</li> </ul>		
DECELERATION FREQUENCY							
DECELERATION INTENSITY							

Slika 29. Primjer natjecateljskog mikrociklusa tijekom sezone koji obuhvaća principe okvira za razvoj sposobnosti usporavanja (Harper DJ i sur., *The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports*, 2024). (<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

## 6. Zaključak

Deceleracija je jedan od ključnih aspekata u sportovima koji zahtijevaju brze promjene smjera i dinamiku kretanja, a posebno se ističe u nogometu. Nogometaši se često suočavaju s potrebom naglog zaustavljanja ili usporavanja prilikom driblinga, sprintanja, ulaska u obrambene i napadačke duele ili brze promjene smjera kretanja. Sposobnost učinkovite deceleracije omogućuje igračima bolju kontrolu nad svojim tijelom i pokretima, što izravno utječe na uspješnost izvedbe na terenu. Teorijska istraživanja u ovom području jasno pokazuju da je horizontalna deceleracija izrazito složen proces koji zahtijeva visoku razinu koordinacije, neuromuskularne kontrole i brze aktivacije mišićnih grupa, prvenstveno ekstenzora gležnja, koljena i kuka.

Razvijanje ovih sposobnosti kroz ciljane treninge može značajno unaprijediti sportske performanse, omogućujući igračima da brže i učinkovitije reagiraju na zahtjeve igre. Nadalje, pravilno programiranje i treniranje deceleracije igra ključnu ulogu u smanjenju rizika od ozljeda, posebice onih koje uključuju prednji križni ligament (ACL), koji je često pod velikim

opterećenjem prilikom naglog usporavanja ili zaustavljanja. Učinkovito treniranje deceleracije ne samo da doprinosi većoj sportskoj izvedbi, već djeluje i preventivno na zdravlje igrača, smanjujući stres i opterećenje na zglobove i mišiće.

U nogometu, sposobnost brze deceleracije često odlučuje ishod ključnih situacija na terenu. Igrači s razvijenijom sposobnošću usporavanja mogu brže promijeniti smjer kretanja, izbjeći protivnike, bolje se pozicionirati u obrambenim i napadačkim akcijama te izvući maksimum iz svoje brzine i agilnosti. Ova vještina ne samo da poboljšava tehničko-taktičke sposobnosti igrača, već također smanjuje rizik od ozljeda jer pomaže u kontroli sila koje djeluju na tijelo tijekom naglih usporavanja i promjena smjera.

Vježbe koje se fokusiraju na ekscentrično opterećenje – fazu u kojoj se mišić izdužuje dok se istovremeno napreže – te na brzu ekscentričnu aktivaciju i kontrolu prilikom doskoka, ključne su za poboljšanje performansi u deceleracijskim zadacima. Ove vježbe pomažu igračima u učinkovitom apsorpiranju sila koje se javljaju prilikom naglog zaustavljanja, čime se smanjuje rizik od ozljeda, ali i omogućuje brži oporavak između utakmica. Razvijanje ovih sposobnosti igra ključnu ulogu u tome da igrači budu ne samo brži, već i izdržljiviji i otporniji na ozljede. Kako bi se maksimalno iskoristio potencijal deceleracijskog treninga, buduća istraživanja trebala bi detaljno ispitati specifične protokole treninga koji optimiziraju ovu sposobnost kod nogometaša. Potrebna su dodatna istraživanja kako bi se utvrdile optimalne doze treninga za različite razine sportaša, uključujući intenzitet, volumen i periodizaciju treninga. To bi omogućilo preciznije programiranje treninga koji ciljano razvijaju sposobnost deceleracije, a time i cjelokupnu sportsku izvedbu.

U praksi, integracija ovih vježbi u svakodnevne treninge, bilo u teretani ili na terenu, može značajno unaprijediti sposobnost horizontalne deceleracije kod sportaša. Korištenje novih tehnologija, kao što su motorizirani otporni uređaji, elastične trake i druge vrste otpora, pruža dodatne mogućnosti za povećanje učinkovitosti treninga. Ovi alati omogućuju preciznije programiranje opterećenja i napretka, što je posebno važno za sportaše koji se bave visokointenzivnim sportovima poput nogometa. Na taj način, pravilno strukturirani trening može ne samo unaprijediti performanse, već i smanjiti rizik od ozljeda, čime se osigurava dugovječnost igrača na visokoj razini.

## Literatura

- 1.) McBurnie, A. J., Harper, D. J., Jones, P. A., & Dos'Santos, T. (2022). Deceleration Training in Team Sports: Another Potential 'Vaccine' for Sports-Related Injury?. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 52(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01583-x>
- 2.) Akenhead, R., & Nassis, G. P. (2016). Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. *International journal of sports physiology and performance*, 11(5), 587–593. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0331>
- 3.) Andrews, J. R., McLeod, W. D., Ward, T., & Howard, K. (1977). The cutting mechanism. *The American journal of sports medicine*, 5(3), 111–121. <https://doi.org/10.1177/036354657700500303>
- 4.) Biomechanics of Resistance Exercise. (2016.). U G. Gregory Haff i N. Travis Triplett, *Essentials of Strength Training and Conditioning* (str. 19-42). Human Kinetics.
- 5.) Bok, Daniel ; Jukić, Igor Sposobnost ponavljanja sprintova: Ograničavajući čimbenici i trenažne strategije // Kondicijska priprema sportaša 2013 : zbornik radova. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu ; Udruga kondicijskih trenera Hrvatske, 2013. str. 53-59
- 6.) Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(10), 1025–1042. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2>
- 7.) Damian Harper. (9. September 2023). *Don't Speed Up What You Can't Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete's Horizontal Deceleration Performance Capabilities?* Dohvaćeno iz Science of multidirectional speed: <https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>
- 8.) DeWeese B. H. i Nimphius S. (2016.). Program design and technique for speed and agility training. U Haff G.G. i Triplett N.T., *Essentials of Strength Training and Conditioning* (str. 521-558). Lower Mitcham, Australia: Human Kinetics Publishers.
- 9.) Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 41(8), 673–694. <https://doi.org/10.2165/11590550-000000000-00000>
- 10.) Harper, D. J., Carling, C., & Kiely, J. (2019). High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(12), 1923–1947. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01170-1>
- 11.) Harper, D. J., McBurnie, A. J., Santos, T. D., Eriksrud, O., Evans, M., Cohen, D. D., Rhodes, D., Carling, C., & Kiely, J. (2022). Biomechanical and Neuromuscular Performance Requirements of Horizontal Deceleration: A Review with Implications for Random Intermittent Multi-Directional Sports. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 52(10), 2321–2354. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01693-0>
- 12.) Harper, Damian & Cervantes, Chris & Dyke, Matt & Evans, Martin & McBurnie, Alistair & Dos'Santos, Thomas & Eriksrud, Ola & Cohen, Daniel & Rhodes, David & Carling, Christopher & Kiely, John. (2024). The Braking Performance Framework:

- Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Multi-Directional Sports. *International Journal of Strength and Conditioning*. 4. 10.47206/ijsc.v4i1.351.
- 13.) Hewit, Jennifer & Cronin, John & Button, Chris & Hume, Patria. (2011). Understanding Deceleration in Sport. *Strength & Conditioning Journal*. 33. 47-52. 10.1519/SSC.0b013e3181fbd62c.
  - 14.) Jeremy M. Sheppard i Travis Triplett. (2016). Program Design for Resistance Training. In G. G. Triplett, *Essentials of Strength Training and Conditioning* (pp. 439-469). Human Kinetics.
  - 15.) Jones, P., Bampouras, T. M., & Marrin, K. (2009). An investigation into the physical determinants of change of direction speed. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 49(1), 97–104.
  - 16.) Mandorino, M., Tessitore, A., & Lacombe, M. (2024). Loading or Unloading? This Is the Question! A Multi-Season Study in Professional Football Players. *Sports (Basel, Switzerland)*, 12(6), 148. <https://doi.org/10.3390/sports12060148>
  - 17.) McBurnie, Alistair & Dos'Santos, Thomas. (2021). Multidirectional Speed in Youth Soccer Players: Theoretical Underpinnings. *Strength & Conditioning Journal*. Publish Ahead of Print. 10.1519/SSC.0000000000000658.
  - 18.) Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., & Bourdon, P. C. (2013). Match play intensity distribution in youth soccer. *International journal of sports medicine*, 34(2), 101–110. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1306323>
  - 19.) Nimphius, S., Callaghan, S. J., Spiteri, T., & Lockie, R. G. (2016). Change of Direction Deficit: A More Isolated Measure of Change of Direction Performance Than Total 505 Time. *Journal of strength and conditioning research*, 30(11), 3024–3032. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001421>
  - 20.) Nimphius, Sophia PhD<sup>1,2</sup>; Callaghan, Samuel J. BSc (Honours)<sup>1</sup>; Bezodis, Neil E. PhD<sup>3</sup>; Lockie, Robert G. PhD<sup>4</sup>. Change of Direction and Agility Tests: Challenging Our Current Measures of Performance. *Strength and Conditioning Journal* 40(1):p 26-38, February 2018. | DOI: 10.1519/SSC.0000000000000309
  - 21.) Paul Jones. (4. Ožujak 2023). *Assessing Change of Direction Qualities in the Field*. Dohvaćeno iz Science of Multidirectional Speed: <https://sciofmultispeed.com/>
  - 22.) Piechota K, Majorczyk E. Decision-Making Time and Neuromuscular Coordination in Youth and Senior Soccer Goalkeepers. *Sensors*. 2023; 23(9):4483. <https://doi.org/10.3390/s23094483>
  - 23.) Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., Cook, C. J., Love, T. D., Bracken, R. M., & Kilduff, L. P. (2016). Changes in Acceleration and Deceleration Capacity Throughout Professional Soccer Match-Play. *Journal of strength and conditioning research*, 30(10), 2839–2844. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000805>

- 24.) Silva, H., Nakamura, F. Y., Beato, M., & Marcelino, R. (2023). Acceleration and deceleration demands during training sessions in football: a systematic review. *Science & medicine in football*, 7(3), 198–213. <https://doi.org/10.1080/24733938.2022.2090600>
- 25.) Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(12), 1025–1044. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535120-00003>
- 26.) Tom Dos'Santos. (6. Siječanj 2024). *Plyometric Training: Importance for Multi-directional Speed Development and Injury Prevention*. Dohvaćeno iz Science of Multi-Directional Speed: <https://sciofmultispeed.com/plyometric-training-importance-for-multi-directional-speed-development-and-injury-prevention/>
- 27.) Vigh-Larsen, J. F., Dalgas, U., & Andersen, T. B. (2018). Position-Specific Acceleration and Deceleration Profiles in Elite Youth and Senior Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 32(4), 1114–1122. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001918>
- 28.) Zemková, E., & Hamar, D. (2014). Agility performance in athletes of different sport specializations. *Acta Gymnica*, 44(3), 133-140. doi: 10.5507/ag.2014.013

## Prilozi:

Slika 6: Biomehaničke i neuromuskularne determinante sposobnosti horizontalnog usporavanja ilustracija komponenata 'kontrole sile kočenja' i 'prigušenja sile kočenja'. COM centar mase, COP centar pritiska, RFD brzina razvoja sile. (Harper DJ i sur., Biomechanical and Neuromuscular Performance Requirements of Horizontal Deceleration: A Review with Implications for Random Intermittent Multi-Directional Sports, 2022).

<https://doi.org/10.1007/s40279-022-01693-0>

Slika 7. Usporedba profila sile reakcije tla (GRF) tijekom maksimalne horizontalne deceleracije (crvena linija) i maksimalne horizontalne akceleracije (zeleno linija). (Harper DJ i sur., Biomechanical and Neuromuscular Performance Requirements of Horizontal Deceleration: A Review with Implications for Random Intermittent Multi-Directional Sports, 2022). Sports Medicine, 2321–2354. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01693-0>

Slika 8. Razlike u položaju tijela tokom kontakta s podlogom prilikom ubrzavanja i usporavanja (Hewit i sur., 2011. Understanding Deceleration in Sport.). Strength & Conditioning Journal, 47-52. <http://dx.doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181fbd62c>

Slika 9. Determinante agilnosti (Assessing Change of Direction Qualities in the Field, Paul Jones, 2023). <https://sciofmultispeed.com/>

Slika 5. Vremenske razlike u aktivaciji mišića u sekvenciji pokreta između golmana seniorskog (a) i mlađih uzrasta (b). Piechota K. i Majorczyk E. (2023). Decision-Making Time and Neuromuscular Coordination in Youth and Senior Soccer Goalkeepers. Sensors, 4483. doi.org/10.3390/s23094483

Slika 6. Udaljenost provedena u ubrzavanju (ACC) i usporavanju (DEC) tijekom različitih testova udaljenosti od sprinta do zaustavljanja (postotak vremena prikazan je u zagradama). Harper DJ i sur. (2022). Biomechanical and Neuromuscular Performance Requirements of Horizontal Deceleration: A Review with Implications for Random Intermittent Multi-Directional Sports. Sports Medicine, 2321–2354. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01693-0>

Slika 7. Senzori koji se nalaze u GPS uređaju i funkcije koje imaju. „How to Make Sense of GPS Data”, M. Matušinski, 2024. Ultrax.ai (<https://www.ultrax.ai/event/auto-draft/>)

Slika 8. Lokomotorne aktivnosti tokom nogometne utakmice, prema poziciji, grupi igrača i momčadskom prosjeku. Vigh-Larsen i sur. (2018). Position-Specific Acceleration and Deceleration Profiles in Elite Youth and Senior Soccer Players. Journal of Strength and Conditioning Research, 1114-1122. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001918

Slika 9. Sekvenca fotografija ključnih prostornih i vremenskih značajki tijekom unaprijed planiranog manevra promjene smjera (COD) s pivotiranjem. A.J. McBurnie i sur. (2022.). „Deceleration Training in Team Sports: Another Potential ‘Vaccine’ for Sports-Related Injury?“ Sports Medicine, 1-12. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001918

Slika 10. Opcije testiranja za procjenu horizontalne deceleracije. Damian Harper (2023.), „Don’t Speed Up What You Can’t Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete’s Horizontal Deceleration Performance Capabilities?“ <https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

Slika 11. Razlike u zahtjevima deceleracije pri izvođenju 10m ili 20m ADA testa. Damian Harper (2023.), „Don’t Speed Up What You Can’t Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete’s Horizontal Deceleration Performance Capabilities?“ <https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

Slika 12. Primjer profila brzine/vremena (siva linija) i podataka o trenutnom ubrzanju i usporavanju (plava linija) snimljenih tijekom testa sposobnosti ubrzanja i usporavanja (ADA). Damian Harper (2023.) „Don’t Speed Up What You Can’t Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete’s Horizontal Deceleration Performance Capabilities?“ <https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

Slika 13. Primjer profila brzine u odnosu na vrijeme snimljenog tijekom modificiranog 505 testa korištenjem motoriziranog uređaja otpora. Damian Harper (2023.) „Don’t Speed Up What You Can’t Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete’s Horizontal Deceleration Performance Capabilities?“ <https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

Slika 14. primjer profila performansi kočenja sportaša korištenjem 20m ADA - testa (ADA20) i vertikalnog skoka s pripremom (CMJ) u ekscentričnoj (ECC) i koncentričnoj (CON) fazi. Damian Harper (2023.) „Don’t Speed Up What You Can’t Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete’s Horizontal Deceleration Performance Capabilities?“ <https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>



Slika 15. Kinogram ključnih faza koraka kočenja u ranim i kasnim fazama usporavanja. Damian Harper (2023.) „Don't Speed Up What You Can't Slow Down: How Are We Assessing Our Athlete's Horizontal Deceleration Performance Capabilities?”

<https://sciofmultispeed.com/dont-speed-up-what-you-cant-slow-down/>

Slika 16. Vježba horizontalnog kočenja izvedena sa zamašnjakom i sajlom uređajem. (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024)

<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 17. Potpomognuti horizontalni koraci kočenja generiranjem sile elastičnom trakom. (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024)

<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 18. Smjernice za propisivanje ekscentričnih „yielding“ i ekscentričnih kvazi-izometrijskih (EQI) vježbi s predloženim adaptacijama (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 19. Varijable koje se mogu mijenjati kako bi se povećala težina vježbi kontrole ekscentričnog doskoka. (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). (<https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>)

Slika 20. Okvir izvedbe kočenja. (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 21. Usporedba zadataka promjene smjera (COD) od 180° s prilazima od 5 m i 15 m. Približne brzine prilaza, udaljenosti kočenja i broj koraka kočenja preuzeti iz rada Graham-Smith et al. (2018) i Falch et al. (2020). (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>



Slika 22. Asistirano horizontalno usporavanje tijekom zadatka promjene smjera od 180°. (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 23. Izometrijska vježba savladavanja specifična za kočenje, izvedena u položaju horizontalne deceleracije. (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 24. Nepredviđena horizontalna usporavanja programirana i napredovana pomoću igre izbjegavanja 1 na 1. (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 25. Kontekstualna vježba usporavanja specifična za poziciju bočnog veznog igrača. (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 26. Kontekstualni sustav klasifikacije za horizontalna usporavanja koja se susreću tijekom specifičnih scenarija utakmica u nogometu, dok je igrač u posjedu lopte (napad) i izvan posjeda (obrana) (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 27. Kompleksi kočenja s primjerima vertikalno i horizontalno usmjerenih vježbi. (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 28. Primjer pripremnog mikrociklusa koji obuhvaća principe okvira za razvoj sposobnosti usporavanja (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>

Slika 29. Primjer natjecateljskog mikrociklusa tijekom sezone koji obuhvaća principe okvira za razvoj sposobnosti usporavanja (Harper DJ i sur., The Braking Performance Framework: Practical Recommendations and Guidelines to Enhance Horizontal Deceleration Ability in Mult-Directional Sports, 2024). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v4i1.351>