

# CrossFit

---

**Slivar, Mario**

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

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:221:464517>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-18**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET SPLIT  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ  
KINEZIOLOGIJE /  
SMJER REKREACIJA I FITNES

**CROSSFIT**

Završni rad

Split, 2022.

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
KINEZIOLOŠKI FAKULTET SPLIT  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ  
KINEZIOLOGIJE /  
SMJER REKREACIJA I FITNES

# **CROSSFIT**

Završni rad

**Student: Mario Slivar**

**Mentor: doc. dr. sc. Mateo Blažević**

Split, 2022.

## Sažetak

CrossFit je visoko intenzivan i raznolik funkcionalni trening snage i izdržljivosti koji je unazad dvadesetak godina postao vrlo popularan u svijetu. Glavni cilj CrossFita je razviti i podići na višu razinu opću tjelesnu kondiciju. To se postiže maksimiziranjem neuroendokrinog odgovora, razvojem snage pomoću funkcionalnih pokreta i treniranjem višestrukim modalitetima treninga. CrossFitom se razvija kardioraspiratorna izdržljivost, snaga, fleksibilnost, jakost, brzina, koordinacija, agilnost i ravnoteža. Međutim, CrossFit se često povezuje s ozljedama, pogotovo ozljedama uzrokovanih preopterećenjem. U ovom radu se prikazuje fiziologija CrossFita i utjecaj na hormonalne i metaboličke promjene te upalne reakcije. Kroz pregled znanstvenih istraživanja prikazuje se stopa ozljeda te koje su najčešće ozljede povezane s CrossFitom i preopterećenjem.

**Ključne riječi:** CrossFit, ozljede, tjelesna priprema, prednosti CrossFita nedostaci CrossFita

## **Abstract**

CrossFit is a highly intensive and diverse functional strength and endurance training that has become very popular in the world over the past twenty years. The main goal of CrossFit is to develop and raise general physical fitness to a higher level. This is achieved by maximizing the neuroendocrine response, developing strength using functional movements and training multiple training modalities. CrossFit develops cardiorespiratory endurance, strength, flexibility, strength, speed, coordination, agility and balance. However, CrossFit is often associated with injuries, especially injuries caused by overuse. This paper presents the physiology of CrossFit and its influence on hormonal and metabolic changes as well as inflammatory reactions. Through a review of scientific research, the injury rate is shown, which are the most common injuries associated with CrossFit and overload.

**Keywords:** CrossFit, injuries, physical preparation, advantages of CrossFit, disadvantages of CrossFit

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	6
<b>2. CROSSFIT TRENING</b> .....	7
2.1. Trening dana (WOD).....	8
2.1.1. Najpopularniji CrossFit WOD-ovi.....	8
2.2. Fiziologija CrossFita .....	12
2.2.1. Hormonalne promjene.....	13
2.2.2. Metaboličke promjene.....	14
2.2.3. Upalne reakcije.....	16
2.3. Adaptacija na CrossFit .....	17
2.4. Trenažno iskustvo.....	18
<b>3. STOPE OZLJEDA U CROSSFITU</b> .....	20
3.1. Ozljede zbog pretreniranosti kod natjecatelja .....	21
3.1.1. Tendinopatija.....	22
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	24
<b>5. LITERATURA</b> .....	25

## 1. UVOD

Grupni treninzi vježbanja posljednja dva desetljeća doživjeli su veliku ekspanziju, tako i crossfit koji je brzo počeo rasti od svog početka 2000. godine. Iako ne postoji službeni broj ljudi koji sudjeluju u CrossFitu, procijenjeno je da se program koristi u više od 20000 objekata diljem svijeta te da u njemu sudjeluje oko 4 miliona ljudi u 120 zemalja (Longe, 2012). CrossFit je izvorno osmišljen za treniranje pojedinaca (npr. policijskih službenika, vojnih specijalnih postrojbi) čiji posao zahtijeva fizičku spremnost i snagu mišića kako bi mogli prijeći s niskih na visoke razine napora u nekoliko sekundi. Namijenjen poboljšanju učinkovitosti kretanja, program uključuje različite funkcionalne pokrete za promicanje mišićne snage i kardiorespiratorne kondicije (Weisenthal, Beck, Maloney, DeHaven i Giordano, 2014).

Specifični načini vježbanja CrossFita uključuju power/olimpijska dizanja (tj. čučnjevi, čišćenje, mrtvo dizanje, bench press i potisak), gimnastiku (tj. povlačenja, iskoraci, podizanje koljena do laktova, sklekovi u stoj na rukama, sklekovi i trbušnjaci) i aerobne vježbe/metaboličke kondicije (tj. plivanje, trčanje i veslanje (Weisenthal i sur., 2014). Ovi pokreti vježbi često se izvode određeno vrijeme, s malo ili nimalo odmora pri visokom intenzitetu (Weisenthal i sur., 2014).

U ovom obliku treninga rekreativno uživaju sudionici različitih razina kondicije, iskustva u treniranju, dobi i stilova života (Thompson, 2017), a postoji i kao zaseban sport. Primarno CrossFit natjecanje su Reebok CrossFit Igre koje pojedinačnim pobjednicima dodjeljuju titulu "Najspremniji na Zemlji". Povijesno gledano, ovo se natjecanje sastojalo od nekoliko faza osmišljenih da suze početni krug sudionika na vrhunske sportaše. Iako se struktura natjecanja s vremenom promijenila ([games.crossfit.com](http://games.crossfit.com)), prisutnost početnog online kruga kvalifikacija (npr. CrossFit Open) je ostala. Ovaj krug obično uključuje višestruke izazove vježbanja koji se dovršavaju tijekom nekoliko tjedana. Natjecatelji koji završe sve treninge i budu dovoljno visoko rangirani napredovat će u sljedeću fazu natjecanja. Bez obzira na fazu, očekuje se da će se svaki trening sastojati od niza izazova koji će zahtijevati neku kombinaciju snage, eksplozivnosti, izdržljivosti i/ili vještina specifičnih za sport (Glossman, 2011). Međutim, malo je poznato koje su fiziološke karakteristike natjecatelja koji napreduju dalje od uvodne runde natjecanja.

## 2. CROSSFIT TRENING

Osnovni princip CrossFit® treninga temelji se na jedinstvenoj primjeni modaliteta vježbanja s utezima (W), gimnastike (G), metaboličke kondicije (M) (Crawford i sur., 2018b). Cilj je odabrati takve metode koje će biti učinkovite za razvoj parcijalnih dijelova, a također će imati utjecaj na cjelokupni razvoj kondicije. Ove tri domene koriste se zasebno ili u kombinaciji. Dizanje utega i gimnastika su vrsta vježbi s otporom koje koriste vanjsko opterećenje, odnosno tjelesnu težinu osobe, a namijenjena su razvoju apsolutne i relativne snage. Metaboličko kondicioniranje znači (monostrukturni) kardio ili anaerobni/aerobni trening, koji ima za cilj poboljšanje izdržljivosti. Svi se modaliteti izmjenjuju ravnomjerno, redovito i u unaprijed određenim kombinacijama. Sve kombinacije se koriste u zatvorenom intervalu od 2-3 tjedna (G-W-M model: W, GW, GM, WGM, G, WG, M).

Izvorno CrossFit pojedinačni trening sastojao se od zagrijavanja, pripreme i WOD. S vremenom se sadržaj treninga počeo širiti te se dodavalo više dijelova koji imaju za cilj razviti određeni modalitet ili tehničke aspekte. Brisebois i sur. (2018.) navode vježbe otpora (dizanje utega, powerlifting) i metaboličko kondicioniranje u svakom treningu, osim toga, za zagrijavanje i hlađenje. Primjer je pokazao Tibana i sur. (2016): u treningu prvog dana, ispitanici su završili: (a) pet serija s jednim ponavljanjem trzaja iz bloka na 80% od maksimuma jednog ponavljanja (1RM) s 2-5 minuta intervala odmora; (b) 3 serije od 5 poteza Touch & Go (puni) na 75% od 5RM s 90 s odmora između serija; (c) 3 serije po 60 s držanja na dasci s utezima s 90 s odmora; Nakon trećeg seta gore spomenutih vježbi dopušteno je 5 minuta odmora, a zatim je provedeno kondicioniranje izdržljivosti s 10 minuta što je moguće više rundi (AMRAP) 30 dvostrukih podizanja i 15 trzaja snage (34 kg).



## 2.1. Trening dana (WOD)

Trening dana (WOD) je obično glavni ili jedini dio treninga. Priroda WOD-a može biti vrlo različita; sadržaj može biti kondicijski, trening snage ili mješoviti, a stalno variraju i u trajanju (Crawford i sur., 2018a). Zahvaljujući tome, fiziološki odgovor na opterećenje i naknadni adaptacijski potencijal također se razlikuju.

Mješoviti WOD sadržaj znači sastav nekoliko vježbi i modaliteta. Kliszczewicz i sur. (2018) odabrali su testirati 15 minuta rada pri čemu su sudionici ponavljali sljedeći niz za što je moguće više rundi (AMRAP): veslanje od 250 m, 20 zamaha s girjama, 15 potiskivanja bučicama. Radi se o kontinuiranom raznolikom opterećenju, gdje se izmjenjuju jedna vježba izdržljivosti i dvije vježbe snage-izdržljivosti. Tibana i sur. (2018) koristio je "Fran": 21-15-9 ponavljanja potiska (42,5 kg) i zgibova. Drugi primjer je Maté-Muñoz i sur. (2018) kada je odabrana "Cindy", AMRAP u 20 minuta od: 5 zgibova, 10 sklekova, 15 čučnjeva. Butcher i sur. (2015) testirao je "Grace": 30 izbačaja (60 kg) za vrijeme. Iz gore navedenog, jasno je da vrijeme ili sadržaj WOD-a može dramatično varirati, a time i fiziološki odgovor na vježbanje također varira.

### 2.1.1. Najpopularniji CrossFit WOD-ovi

U nastavku će biti prikazano devet najprimjenjivanijih treninga koji se koriste u CrossFitu s prikazom vježbi, broja ponavljanja ili trajanja.

#### 1. Mary

Ovim treningom nastoji se završiti što je moguće više rundi koje se sastoje od tri vježbe u 20 minuta. Broj ponavljanja po vježbi relativno je nizak u usporedbi s nekim dužim serijama koje se rade u CrossFitu. Runda se sastoji od:

- 5 sklekova u stoju na rukama (noge su uz zid),
- 10 čučnjeva s jednom nogom (naizmjenično d/l) i
- 15 zgibova.



*Slika 1. Mary WOD: sklekovi u stoju na rukama, jednonožni čučanj i zgibovi*

## 2. Angie

Napraviti 100 ponavljanja bilo čega je teško – stoga je raditi 100 ponavljanja četiri različite vježbe zaredom, pokušavajući sve završiti što je brže moguće iznimno zahtjevno. Vježbe su:

- zgibovi,
- sklekovi,
- trbušnjaci i
- čučnjevi.

## 3. Home Chipper

U treninzima silaznih serija glavna karakteristika je da postaje sve lakši i lakši kako vrijeme odmiče jer je potrebno napraviti sve manje ponavljanja. Međutim, CrossFit nema riječ "lako" u svom vokabularu, tako da se s ovom metodom silaznih serija počinje sa 100 ponavljanja prve vježbe, a zatim slijedi 90 ponavljanja druge, 80 treće itd. Vježbe su:

- 100 čučnjeva
- 90 trbušnjaka
- 80 naizmjeničnih iskoraka
- 70 burpeea
- Plank od 60 sekundi
- 50 mountain climbersa
- 40 sklekova
- 30 sklopki
- 20 čučnjeva sa skokovima

- 10 hiperekstenzija leđa (prsa su na podu, nakratko se podignu ruke od poda, i ispruže prema naprijed)

#### 4. Fran

Klasik CrossFita, Fran je izvrstan trening kojem se vježbači crossfita povremeno vraćaju kako bi provjerili svoj napredak. Fran se sastoji od samo dvije vježbe – potiska (preporučena težina 40-45kg) i zgibova. Cilj u ovom treningu je napraviti 21 ponavljanje svakog, zatim 15 ponavljanja, zatim 9, u što kraćem vremenskom roku.

#### 5. Karen

Još jednostavnije od Frana, postoji samo jedna vježba u Karen WOD-u. Nažalost, ta vježba su wall balls, a cilj je napraviti ih 150 što brže. Vježba se radi s medicinkom od 9kg koju je potrebno na zid baciti iznad oznake.



*Slika 2. Wall Ball vježba. (Izvor: <https://powerliftingtechnique.com/what-are-wall-balls-good-for/>)*

#### 6. Helen

Helen WOD kombinacija je kardio vježbi i vježbi snage. Trening se sastoji od sljedećih vježbi koje se ponavljaju u tri runde i cilj je završiti ih ispod 12 minuta:

- trčanje 400 m,
- 21 zamah s girjom (težina 24 kg) i
- 12 zgibova.



*Slika 3. Zamah s girjom*

(izvor: <https://www.crossfitinvictus.com/blog/kettlebell-swing-isnt-low-back-exercise/>)

#### 7. Eva

Eva izvodi iste vježbe kao Helen, ali povećava udaljenost, težinu i ponavljanja. U ovom treningu radi se pet rundi, umjesto tri. Te runde uključuju trčanje na 800 m, 30 zamaha girjama (težina 31-32 kg) i 30 zgibova.

#### 8. Murph

Pet koraka u Murph WOD-u su sljedeći:

- trčanje na jednu milju,
- 100 zgibova,
- 200 sklekova,
- 300 čučnjeva s predručenjem,
- trčanje na jednu milju.



*Slika 4. Čučnjevi s predručenjem (Izvor: <https://www.fittestonline.com/air-squat/>)*

## 9. Cindy

Umjesto da teži dovršetku potrebnih ponavljanja što je brže moguće, Cindy WOD uvijek traje točno 20 minuta. U tih 20 minuta rade se serije koje se sastoje od:

- 5 zgibova,
- 10 sklekova i
- 15 čučnjeva s predručenjem.

Cilj je u 20 minuta napraviti što više serija.

## 2.2. Fiziologija CrossFita

Originalnost CrossFita leži, između ostalog, u kombinaciji razvoja kondicije kroz vježbe snage. Heavens i dr. (2014) koristio je shemu "na vrijeme" za WOD: 10-9-8... 2-1 ponavljanja za stražnji čučanj, bench press, vježbe mrtvog dizanja (za svih 75% od maksimalno 1 ponavljanja - RM). Iako su to isključivo vježbe snage, bit će značajno uključena mišićna izdržljivost u proces. Prosječno trajanje protokola bilo je 34 minute za žene i 39 minuta za muškarce. Visoke razine laktata (14,2 i 9,1 mmol/L) pokazuju značajan učinak aerobnih i anaerobnih komponenti i pokazuju visok intenzitet vježbanja.

Fiziološki odgovori istraživani su u nekoliko studija u kojima su korišteni različiti WOD-ovi, koji su bili različitog sastava i duljine. Neki WOD-ovi trajali su u prosjeku između 4 i 6 minuta, ali većina nije trajala duže od 20 minuta. Referentni treninzi (ženskih imena kao što su "Grace", "Fran" ili "Cindy") koji su ozloglašeni u CrossFit zajednici, (Fernandez-Fernandez i sur., 2015.; Kliszczewicz i sur., 2015.; Tibana i sur., 2018). Vidljivo je da tijekom vježbanja sportaši postižu visoke otkucaje srca koji u prosjeku prelaze 170 otkucaja u minuti (Tibana i sur., 2018). Druga zajednička značajka su visoke vrijednosti laktata u krvi, u rasponu od 10,4-18,4 mmol/L (Maté-Muñoz i sur., 2018.; Timón i sur., 2019). Ovi podaci su u sinergiji sa stopom percipiranog napora (RPE), koja nije padala ispod 7. U studijama Heavensa i sur. (2014), Mangine i sur. (2018b), i Tibana i sur. (2019a), pronađene su povišene razine testosterona. Slično je praćena i razina kortizola, koja je također dosegla povišene vrijednosti nakon treninga (Szivak i sur., 2013; Mangine i sur., 2018b). Visoki intenzitet treninga također se odrazio na upalne

reakcije povećanjem aktivnosti interleukina-6/10 (Heavens i sur., 2014.; Tibana i sur., 2016).

### 2.2.1. Hormonalne promjene

Nekoliko studija istraživalo je hormonske odgovore uslijed CrossFit treninga. Analizirane varijable bile su testosteron i kortizol (Mangine i sur., 2018; Cadegiani i sur., 2019; Poderoso i sur., 2019; Tibana i sur., 2019), GH i IGF-1 (Kliszczewicz i sur., 2018; Cadegiani i sur., 2019), odnosno adrenalin i noradrenalin (Kliszczewicz i sur., 2017; Cadegiani i sur., 2019; Mangine i sur., 2019).

Kao akutni učinak, testosteron i kortizol porasli su nakon treninga i činilo se da ostaju povišeni 30 i 60 minuta nakon nekih protokola treninga (Mangine i sur., 2018). Testosteron i kortizol vratili su se na početne vrijednosti 48 sati nakon treninga (Tibana i sur., 2019a). U jedinoj longitudinalnoj studiji (Poderoso i sur., 2019) testosteron je bio viši nakon 6. mjeseca, a kortizol niži nakon 4. mjeseca. Uspoređujući različite skupine (zdrave muškarce, pretrenirane muškarce i neaktivne muškarce), Cadegiani i sur. (2019) pokazali su da zdravi muškarci pokazuju višu razinu testosterona od muškaraca s pretreniranošću, dok se kortizol među njima ne razlikuje.

U studiji Kliszczewicza i sur. (2018), GH je bio viši 1 sat nakon treninga koji je uključivao CV i vježbe dizanja utega u usporedbi sa samo vježbama dizanja utega. Kao i testosteron, u usporedbi između različitih skupina, GH je bio viši u zdravih muškaraca nego u neaktivnih muškaraca (Cadegiani i sur., 2019). IGF-1 nije pokazao nikakve razlike ubrzo nakon WODs ili između različitih skupina.

Adrenalin i noradrenalin bili su viši ubrzo nakon treninga bez obzira na WOD (Kliszczewicz i sur., 2017.; Mangine i sur., 2019). Nakon 6 mjeseci treninga, adrenalin u mirovanju nije bio drugačiji, dok je noradrenalin bio niži kod pretreniranih pojedinaca (Cadegiani i sur., 2019).

Studije su pokazale da je do povećanja razine testosterona i kortizola došlo nakon WOD-a, s dužim intervalima oporavka. Međutim, razine testosterona i kortizola su se smanjile nakon 48 sati treninga (Tibana i sur., 2019). Prema Jacob i sur. (2020) akutno povećanje testosterona može imati različita objašnjenja: (a) prolazno povećanje snage

tijekom treninga; (b) ponavljanja s maksimalnim naporom, što stvara dodatno preopterećenje. S druge strane, povišenje razine kortizola može se objasniti psihološkim čimbenicima, kao što je uočeno kod različitih vrsta sportaša (Casto i Edwards, 2016). Percepcija težine WOD-ova i poticaj za obavljanje zadatka za određeno vrijeme ili AMRAP drugi su čimbenici koji mogu povećati psihološki stres osoba koje treniraju CrossFit i stvoriti okruženje pogodno za povećanje kortizola (Mangine i sur., 2019).

Razina testosterona kod muškaraca porasla je nakon 6 mjeseci CrossFit treninga, dok se razina kortizola smanjila (Poderoso i sur., 2019). Protokoli velikog volumena i visokog intenziteta s kratkim intervalima odmora između serija dovode do većih hormonalnih promjena. Žene nisu imale značajne kronične promjene testosterona i kortizola (Poderoso i sur., 2019). Može se očekivati da žene ne prolaze veće prilagodbe u razinama testosterona zbog svoje slabe reakcije.

### 2.2.2. Metaboličke promjene

Više studija analiziralo je metaboličke promjene uslijed CrossFit treninga koje su se sastojale od analize sljedećih parametara: laktata, glikemije, kolesterola, kretatinina te GOT i GPT.

Kada su u pitanju metaboličke promjene u CrossFitu, većina studija istraživala je odgovore na laktat. Postojao je konsenzus da su razine laktata visoke odmah nakon CrossFit treninga. Čini se da se ovo povećanje događa na početku treninga i traje do 30 minuta nakon treninga (Tibana i sur., 2018). Neke su studije pokazale razlike između različitih WOD-ova (Tibana i sur., 2016.; Maté-Muñoz i sur., 2018.; Timón i sur., 2019), a neke nisu pronašle razlike (Fernandez-Fernandez i sur., 2015.; Tibana i sur., 2018). Kronično, Murawska-Cialowicz i sur. (2015) prijavili su neznačajne promjene u vrijednostima laktata nakon 3 mjeseca CrossFit treninga. Cadegiani i sur. (2019), kada su ocjenjivali zdrave sportaše i sportaše sa sindromom pretreniranosti, otkrili su da zdravi sportaši imaju nižu razinu laktata u krvi od onih s pretreniranošću koji su slijedili neopisani protokol treninga. Vrijednosti laktata prije WOD bile su  $\sim 2,9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  za sve studije. Međutim, odgovori na laktat u krvi nakon protokola bili su slični bez obzira na vrijeme WOD. Predstavljene vrijednosti bile su  $10,15\text{--}18,38 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  za protokole s vremenom  $<10 \text{ min}$   $5,95\text{--}16,56 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  za protokole s vremenom u rasponu od 10 do

19 min (Maté-Muñoz i sur., 2018; Kliszczewicz i sur., 2018; Tibana i sur., 2018), i 11,79–17,43 mmol·L<sup>-1</sup> za protokole  $\geq 20$  min (Fernandez-Fernandez i sur., 2015; Maté-Muñoz i sur., 2018). Nakon CrossFit treninga dolazi do akutnog odgovora na povećanu koncentraciju laktata koji ostaje povišen do 30 minuta nakon treninga. U CrossFit treningu, WOD-ovi općenito nemaju standardno vrijeme pauze, tj. budući da je trening "za vrijeme" ili AMRAP, intervali se sami odabiru prema prikladnosti sudionika. Stoga ova karakteristika može održavati laktat povišenim dulje vrijeme nakon sesije (Goto i sur., 2005.).

Što se tiče kroničnih metaboličkih odgovora, nedostatak promjene u odgovoru na laktat može biti rezultat intenziteta koji se koristi za svaki WOD. Također se mora uzeti u obzir da laktat prije treninga nije registriran (Murawska-Cialowicz i sur., 2015.). Stoga, trenutno, kronični metabolički odgovori kod osoba koje treniraju CrossFit® nisu uvjerljivi.

Često je ispitivana i glikemija kod CrossFit sportaša. Slično laktatu, nekoliko je studija pokazalo povećanje nakon neovisnog WOD-a (Tibana i sur., 2016.; Kliszczewicz i sur., 2017.; Durkalec-Michalski i sur., 2018.), dok druge studije nisu pokazale promjene u razinama glikemije nakon treninga (Shaw i sur., 2015; Coco i sur., 2019). Samo studija Tibana i sur. (2016) pokazali su da se glukoza u krvi promijenila nakon treninga kao funkcija WOD tipa. Glukoza u krvi nije se mijenjala između zdravih sportaša i sportaša sa sindromom pretreniranosti u neopisanom protokolu treninga (Cadegiani i sur., 2019). Stopa glikemije raste nakon CrossFit treninga zbog povećanih kateholamina. Povećanje stope glikemije kao odgovor na trening nastaje zbog potrebe za većim korištenjem glukoze kako bi se zadovoljila energija potrebna za sport, čija je posebna karakteristika da se uvijek izvodi visokim intenzitetom.

Kolesterol, kreatinin, GOT i GPT ispitivani su u samo jednoj studiji. Kolesterol nije pokazao razlike nakon treninga (Shaw i sur., 2015), a kreatinin se nije promijenio nakon 6 mjeseci CrossFit® treninga (Cadegiani i sur., 2019). Timón i sur. (2019) bili su jedini istraživači koji su procijenili GOT i GPT odgovore nakon treninga, a njihovi su rezultati pokazali značajno povećanje vrijednosti neovisno o WOD-u.



### 2.2.3. Upalne reakcije

Nekoliko je studija u posljednjih pet godina istraživalo upalne odgovore nakon CrossFita (Tibana i sur., 2016., 2019; Michnik i sur., 2017.; Durkalec-Michalski i sur., 2018.; Cadegiani i sur., 2019.; Timón i sur., 2019). Analizirani biomarkeri oštećenja mišića u istraživanjima bili su CK, IL-6 i IL-10.

Čini se da se CK povećava nakon treninga (Durkalec-Michalski i sur., 2018; Timón i sur., 2019) ili da se smanjuje unutar 72 sata nakon treninga (Tibana i sur., 2019). Michnik i sur. (2017) otkrili su da se nakon uzimanja zelenog čaja CK smanjio nakon treninga. Kao kronični učinak, nije bilo razlika nakon 6 mjeseci treninga (Cadegiani i sur., 2019).

IL-6 se povećao nakon treninga neovisnog o WOD-u, dok je IL-10 porastao kao funkcija karakteristika WOD-a (Tibana i sur., 2016.). Uspoređujući pet različitih WOD-ova, IL-10 nije pokazao razlike nakon treninga (Tibana i sur., 2019).

### 2.3. Adaptacija na CrossFit

Prilagodba organizma na CrossFit pojavila se u istraživanjima tek posljednjih godina. Trajanje intervencija je od 4 tjedna do 6 mjeseci. Autori su češće koristili službeni CrossFit predložak za programiranje, što znači da je korišten predložak koji određuje koncept i broj treninga (G-W-M model). Konkretno sadržaje (vježbe) uvijek su pripremali izravno autori. Kao kriterij ispitivanja često se birala maksimalna jakost. Brisebois i sur. (2018) i Cosgrove i sur. (2019) primijetili su značajan napredak u stražnjem čučnju ili mrtvom dizanju. Slično, poboljšanje je primijećeno u 5 RM prednjih čučnjeva (Feito i sur., 2018b). Međutim, Kephart i sur. (2018) nisu primijetili značajan napredak na 1 RM stražnjeg čučnja, što bi moglo biti posljedica korištene ketogene dijeta. Utjecaj na izvedbu snage gornjeg dijela tijela (1 RM bench press, 1 RM potisak s ramenima, maksimalno ponavljanje zgibova) ispitali su Brisebois i sur. (2018), Crawford i sur. (2018a) i Cosgrove i sur. (2019), u svim slučajevima s pozitivnim rezultatom.

Potvrđeni su i učinci na razvoj parametara izdržljivosti, kao što je VO<sub>2</sub>max testiranje (Crawford i sur., 2018a; Brisebois i sur., 2018), a pozitivan učinak nisu potvrdili Drake i sur. (2017). Murawska-Cialowicz i sur. (2015) testirali su anaerobnu kondiciju pomoću Wingate testa i pronašli značajno poboljšanje.

CrossFit program također se pokazao učinkovitim u poboljšanju tjelesne kompozicije - povećanju nemasne tjelesne mase (Brisebois i sur., 2018) i smanjenju tjelesne masti (Murawska-Cialowicz i sur., 2015; Feito i sur., 2018b).

## 2.4. Trenažno iskustvo

Glavna razlika u istraživačkoj literaturi je između općih sportaša, redovitih posjetitelja teretane i natjecateljski orijentiranih sportaša. Mangine i sur. (2020) navode da osim nižeg postotka masti i veće nemasne tjelesne mase, napredni Crossfiteri imaju i drugačiju mišićnu morfologiju u odnosu na posjetitelje teretane. Razlika je također pronađena u aerobnoj i anaerobnoj izvedbi (14-18%); naprotiv, nije pronađena razlika u pogledu razina hormona između skupina (Mangine i sur., 2020.). Odnos između grupa s različitim razinama iskustva u CrossFitu testiran je pomoću dva WOD-a (Bellar i sur., 2015). Ovdje se CrossFit iskustvo (više od 12 mjeseci) pokazalo kao najjači prediktor izvedbe. Druge bitne varijable za predviđanje izvedbe vježbanja bile su aerobni kapacitet i aerobna snaga.

Schlegel i sur. (2020) raspravljali su o identifikaciji odnosa između parametara izvedbe, uključujući elemente snage i izdržljivosti, s plasmanom u CrossFit Open. Korelacija je pokazala najjaču povezanost u plasmanu s maksimalnim učinkom u olimpijskom dizanju utega (trzaj, izbačaj). S druge strane, najslabiji odnos pokazao se s vježbama s tjelesnom težinom (povlačenje, sklekovi u stoju). Sličnu usporedbu napravili su Martínez-Gómez i sur., (2019), gdje se izvedba čučnjeva pokazala odlučujućim faktorom za uspjeh u CrossFit Open treninzima. Treba napomenuti da u ovoj studiji nije testirano olimpijsko dizanje utega, već samo izvedbe snage. Treba istaknuti određenu specifičnost CrossFit Opena: 5 dana za završetak treninga, prostorno i opremljeno prilagođeno uvjetima obične teretane, treninzi moraju moći razlikovati tisuće sportaša sa sličnom razinom performansi itd.

Studije Butchera i sur. (2015) i Dexheimer i sur. (2019) testirali su odnos između referentnih WOD-ova ("Fran", "Nancy", "Cindy", "CrossFit Total") i odabranih parametara izvedbe. U oba slučaja sudionici su bili napredni CrossFitteri. Mjerenja pokazuju da je nemoguće točno odrediti srednji aspekt fitnessa koji bi bio najvažniji za sve WOD-ove. Ovisno o prirodi WOD-a, VO<sub>2</sub>max (za "Nancy", "Cindy"), anaerobna snaga i izvedba snage (za "CrossFit Total") pokazali su se ključnima za bolje rezultate vježbanja. Važnost visokih performansi u anaerobnoj snazi (Wingate test) i VO<sub>2</sub>max u odnosu na rezultate 12-minutnog WOD-a demonstrirali su Bellar i sur. (2015). Feito i sur.

(2019) primijetili su pozitivan odnos između rezultata ponovljenih Wingate testova i performansi u izvornom (nikada prije korištenom) WOD (15 minuta).

Najbolji konkurentni CrossFitteri ( $n = 1500$ ) uspoređeni su prema njihovoj izvedbi, uzorak je podijeljen u skupine, a prikazana je jasna razlika između generiranih kvantila (Serafini i sur., 2018). S povećanjem ukupne izvedbe, značajno su porasle izvedbe snage (stražnji čučanj, mrtvo dizanje, rameni potisak) i olimpijsko dizanje utega (trzaj, izbačaj). Gotovo nikakav napredak nije prikazan u aerobnoj (5 km trčanja) ili (uglavnom) anaerobnoj izvedbi (400 m trčanju).

### 3. STOPE OZLJEDA U CROSSFITU

Tri su studije prijavile ozljede uzrokovane CrossFitom, a jedna je ispitala disfunkciju nakon vježbanja. Stope ozljeda među sudionicima CrossFita bile su usporedive sa stopama drugih rekreativnih ili profesionalnih sportaša (Chachula, Cameron i Svoboda, 2016; Grier i sur., 2013; Hak, Hodžović i Hickey, 2013; Weisenthal i sur., 2014).

Hak i sur. (2013) izvjestili su o stopama ozljeda i obrascima ozljeda na CrossFitu među 386 osoba; ukupna stopa ozljeda bila je 19,4%, pri čemu su muškarci ozlijeđeni češće od žena. Najčešća područja za ozljede bila su ramena, donji dio leđa i koljena. Međutim, stope ozljeda smanjile su se uz sudjelovanje trenera. Chachula i sur. (2016) izvjestili su da su sudionici s prethodnim ozljedama bili 3,75 puta osjetljiviji na ponovno ozljeđivanje.

Grier i sur. (2013) pregledali su medicinsku dokumentaciju članova borbenog tima brigade američke vojske u razdoblju od 6 mjeseci prije i 6 mjeseci nakon implementacije novog fitness programa koji je uključivao CrossFit trening i Ranger Athlete Warrior Program, a oba se smatraju programima ekstremne kondicije (ECP), zajedno s Advanced Tactical Athlete Conditioning (ATAC). Stope ozljeda za sudionike ATAC/ECP-a bile su u skladu sa stopama za nesudionike. Grier i sur. (2013) otkrio je da se ozljede mogu svesti na najmanju moguću mjeru s manje trčanja na duge staze i više treninga otpora.

Hak i sur. (2013) ispitali su ozljede povezane s CrossFitom koje su prijavila 132 sudionika koji su odgovorili na online upitnik; najčešće ozljede bile su ozljede ramena, ozljede kralježnice (osobito donjeg dijela leđa) te ozljede ruke ili lakta. Ozljede ramena činile su 25,8% ukupnih ozljeda. Hak i sur. predložio da je CrossFit siguran za sve sportaše kada se aktivnosti izvode ispravno u sigurnom okruženju s trenerima; međutim, oni sportaši koji su prijavili prethodne ozljede trebali bi poduzeti mjere opreza kako bi izbjegli ponovne ozljede kao u svakom sportu.

Drum, Bellovary, Jensen, Moore i Donath (2016) usporedili su CrossFit trening sa smjernicama za trening American College of Sports Medicine (ACSM). U ovoj studiji autori su putem upitnika prikupili podatke o pretjeranoj bolnosti mišića nakon vježbanja,

odgođenoj bolnosti mišića i kratkoći daha; također su prikupili ocjene percipiranog napora (RPE) koje su prijavili sudionici. RPE sudionika CrossFita bili su viši,  $7,3 \pm 1,7$ , od onih za ACSM,  $5,5 \pm 1,4$  ( $p \leq 0,001$ ). Simptomi nakon vježbanja također su bili veći za CrossFit nego za ACSM, redom: pretjerani umor, 42 naspram 8 ( $p < 0,001$ ); bol u mišićima, 96 naspram 48 ( $p = 0,04$ ); oticanje mišića, 19 naspram 4 ( $p = 0,048$ ); otežano disanje, 13 naspram 1 ( $p = 0,02$ ); mišić bolan na dodir, 31 naspram 4 ( $p = 0,001$ ); i ograničeno kretanje mišića tijekom treninga, 37 naspram 9 ( $p = 0,007$ ). Stoga oni pojedinci koji treniraju s CrossFitom mogu očekivati veću bol nakon vježbanja nego što bi mogli doživjeti s drugim programima vježbanja. Drum i sur. sugerirao da bi sportaši trebali uskladiti svoj trening s planiranim ciklusima odmora kako bi izbjegli preteriranost i spriječili ozljede.

### 3.1. Ozljede zbog pretreniranosti kod natjecatelja

Ozljede od pretreniranosti nastaju zbog ponavljajućeg submaksimalnog opterećenja mišićno-koštanog sustava kada odmor nije adekvatan za strukturnu prilagodbu (DiFiori i sur., 2014). Prevalencija i negativan učinak ozljeda od preopterećenja u natjecateljskim sportovima naglašavaju potrebu za sustavima praćenja koji mogu točno odražavati razvoj prilagodbi sportaša na podražaje treninga (Gisselman i sur., 2016). Varijabilnost otkucaja srca (HRV) popularan je alat za praćenje dobrog stanja i prilagodbe na trening kod sportaša (Bellenger i sur., 2016). HRV uključuje mjerenje varijacija između pojedinačnih otkucaja srca kroz uzastopne srčane cikluse, a ta varijacija može dati procjenu aktivnosti autonomnog živčanog sustava (ANS) osobe (Malik, 1996). Pojava aplikacija i tehnologija za pametne telefone dramatično je povećala dostupnost mjerenja HRV-a, tako da se ono sada može točno zabilježiti samo pomoću pametnog telefona.

Autonomni živčani sustav ima dinamičku ulogu u regulaciji boli, upale i obnavljanju tkiva (Ackermann i sur., 2016). Stoga su neki autori pretpostavili da praćenje HRV-a, kao neizravno mjerenje homeostaze ANS-a, ima potencijal ukazati na rane znakove preopterećenja somatskog tkiva prije pojave boli ili potpuno razvijene ozljede (Gisselman i sur., 2016). Pretpostavlja se da, u odnosu na osnovna mjerenja HRV svakog sportaša, neravnoteže u parasimpatičkom i simpatičkom živčanom sustavu mogu

ukazivati na to da je sportaš u stanju kontinuiranog oporavka i oporavka u odnosu na sportaša koji se pozitivno prilagođava opterećenju tijekom treninga (Gisselman i sur., 2016).

Iako su neki izrazili zabrinutost u vezi s potencijalnim neproporcionalnim rizikom od ozljeda mišićno-koštanog sustava u programima ekstremne kondicije kao što je CrossFit (Bergeron i sur., 2011.), početne epidemiološke studije ozljeda izvijestile su da je stopa incidencije ozljeda u CrossFit treningu relativno niska (2,1 – 3,1 na 1000 sati treninga), te usporedivo s drugim oblicima rekreacijskih fitness aktivnosti (Hak i sur., 2013; Montalvo i sur., 2017). Međutim, metode korištene za registraciju ozljeda u ovim studijama vjerojatno su značajno podcijenile stvarni teret ozljeda zbog preopterećenja (definiranih kao one bez specifičnog, prepoznatljivog događaja koji je odgovoran za njihovu pojavu) zbog oslanjanja na definicije ozljeda prema izgubljenom vremenu (Clarsen i sur., 2013). Smatra se da su ozljede od prenaprezanja prevladavajući tip ozljeda u sportovima koji uključuju velike količine ponavljajućih obrazaca pokreta i/ili velika opterećenja tijekom treninga (Clarsen i sur., 2013); oba ova čimbenika vjerojatno će prevladavati u CrossFit treningu, posebno za natjecatelje koji imaju značajno više sati treninga od nenatjecatelja (Montalvo i sur., 2017).

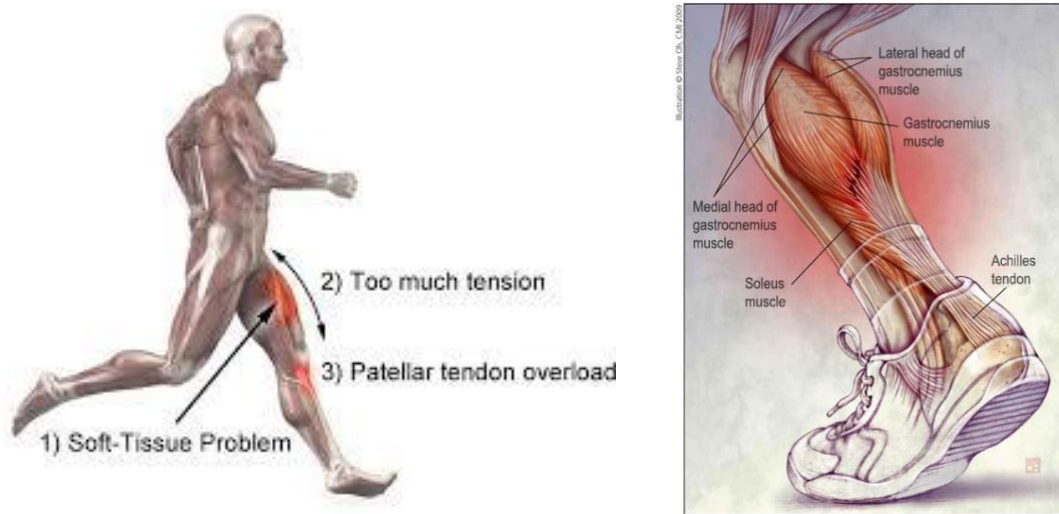
### 3.1.1. Tendinopatija

<https://onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.nsk.hr/doi/full/10.1111/sms.12781>

Poznato je da će kronično preopterećene tetive zadebljati i povećati rizik od tendinopatije. Međutim, ostaje nepoznato hoće li akutno preopterećenje uzrokovano napornim vježbanjem visokog intenziteta izazvati promjene na tetivama i mogu li se te promjene detektirati i opisati ultrazvukom. Cilj studije Fisker i sur. (2017) bila je procijeniti učinke akutnog preopterećenja na debljinu tetive pomoću ultrazvuka.

Standardizirana ultrazvučna mjerenja patele, Ahilove i plantarne tetive obavljena su prije i nakon specifičnog treninga u 34 zdrava ispitanika. Uočena su značajna povećanja debljine tetive patele prije i nakon vrlo intenzivne naporne vježbe, s procijenjenom srednjom razlikom od 0,47 mm i u debljini Ahilove tetive prije i nakon vježbanja, s procijenjenom razlikom od 0,17 mm. Međutim, nije bilo značajne razlike u

debljini fascije plantaris prije i nakon vježbanja. Uočeno je značajno povećanje debljine patelarne i Ahilove tetive kao odgovor na naporne, vrlo intenzivne CrossFit vježbe.



*Slika 5. Prevelika opterećenja dovode do zadebljanja tetiva (Izvor:*

*[https://www.hss.edu/conditions\\_chronic-achilles-tendon-problems-overview.asp](https://www.hss.edu/conditions_chronic-achilles-tendon-problems-overview.asp))*

Opterećenja visokog intenziteta koncentrične i ekscentrične prirode dovode do zadebljanja tetiva. Značajno povećanje debljine tetive pronađeno je u patelarnoj i Ahilovoj tetivi kao odgovor na naporne, vrlo intenzivne vježbe kao što je CrossFit (Fisker i sur., 2017).



## 4. ZAKLJUČAK

CrossFit je kondicijski program koji je privukao široku pozornost zbog svog fokusa na uzastopnim balističkim pokretima koji poboljšavaju snagu i izdržljivost. Karakteriziraju ga treninzi koji koriste širok izbor vježbi, u rasponu od trčanja i veslanja do olimpijskog dizanja (trzaj, izbačaj i trzaj), vježbi snage (čučanj, mrtvo dizanje, bench press) i gimnastičkih pokreta (zgibovi, burpees, penjanje uz užu, sklekovi u stoju na rukama i sl.). Te se vježbe često kombiniraju u vježbe visokog intenziteta koje se izvode brzim, uzastopnim ponavljanjem, s ograničenim ili nikakvim vremenom oporavka. Usvojen je i u vojnoj i u civilnoj populaciji s raširenim izvješćima o impresivnim poboljšanjima u formi. Sudjelovanje u CrossFitu poboljšava kardioraspiratornu izdržljivost i poboljšava tjelesnu pripremu na temelju maksimalnog unosa kisika (VO<sub>2</sub> max) i sastava tijela.

CrossFit često se povezuje s učestalim ozljedama ali stope ozljeda među sudionicima CrossFita bile su usporedive sa stopama drugih rekreativnih ili profesionalnih sportaša. Iako su neki izrazili zabrinutost u vezi s potencijalnim neproporcionalnim rizikom od ozljeda mišićno-koštanog sustava u programima ekstremne kondicije kao što je CrossFit, epidemiološke studije ozljeda izvijestile su da je stopa incidencije ozljeda u CrossFitu treningu relativno niska (2,1 – 3,1 na 1000 sati treninga), te usporediva s drugim oblicima rekreacijskih fitness aktivnosti.

## 5. LITERATURA

1. Ackermann, P. W., Franklin, S. L., Dean, B. J., Carr, A. J., Salo, P. T., & Hart, D. A. (2016). Neuronal pathways in tendon healing and tendinopathy: update.
2. Bellar, D., Hatchett, A., Judge, L. W., Breaux, M. E., & Marcus, L. (2015). The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and experience to performance in in CrossFit exercise. *Biology of sport*, 32(4), 315-320.
3. Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 46(10), 1461-1486.
4. Bergeron M.F., Nindl B.C., Deuster P.A., Baumgartner N., Kane S.F., Kraemer W.J., Sexauer L.R., Thompson W.R., O'Connor F.G. (2011) Consortium for Health and Military Performance and American College of Sports Medicine consensus paper on extreme conditioning programs in military personnel. *Current Sports Medicine Reports* 10, 383-389.
5. Brisebois, M. F., Rigby, B. R., & Nichols, D. L. (2018). Physiological and fitness adaptations after eight weeks of high-intensity functional training in physically inactive adults. *Sports*, 6(4), 146.
6. Butcher, S. J., Neyedly, T. J., Horvey, K. J., & Benko, C. R. (2015). Do physiological measures predict selected CrossFit® benchmark performance?. *Open access journal of sports medicine*, 6, 241.
7. Cadegiani, F. A., Kater, C. E., & Gazola, M. (2019). Clinical and biochemical characteristics of high-intensity functional training (HIFT) and overtraining syndrome: findings from the EROS study (The EROS-HIFT). *Journal of sports sciences*, 37(11), 1296-1307.
8. Casto, K. V., & Edwards, D. A. (2016). Testosterone, cortisol, and human competition. *Hormones and behavior*, 82, 21-37.
9. Chachula, L. A., Cameron, K. L., & Svoboda, S. J. (2016). Association of prior injury with the report of new injuries sustained during CrossFit training. *Athletic Training & Sports Health Care*, 8(1), 28-34.
10. Clarsen, B., Myklebust, G., & Bahr, R. (2013). Development and validation of a new method for the registration of overuse injuries in sports injury epidemiology:

- the Oslo Sports Trauma Research Centre (OSTRC) overuse injury questionnaire. *British journal of sports medicine*, 47(8), 495-502.
11. Coco, M., Di Corrado, D., Ramaci, T., Di Nuovo, S., Perciavalle, V., Puglisi, A., ... & Buscemi, A. (2019). Role of lactic acid on cognitive functions. *The Physician and Sportsmedicine*, 47(3), 329-335.
  12. Cosgrove, S. J., Crawford, D. A., & Heinrich, K. M. (2019). Multiple fitness improvements found after 6-months of high intensity functional training. *Sports*, 7(9), 203.
  13. Crawford, D. A., Drake, N. B., Carper, M. J., DeBlauw, J., & Heinrich, K. M. (2018). Are changes in physical work capacity induced by high-intensity functional training related to changes in associated physiologic measures?. *Sports*, 6(2), 26.
  14. CrossFit Games 2022. Izvor: <https://games.crossfit.com/workouts/open/2022>. Pristupljeno: 15.09.2022.
  15. Dexheimer, J. D., Schroeder, E. T., Sawyer, B. J., Pettitt, R. W., Aguinaldo, A. L., & Torrence, W. A. (2019). Physiological performance measures as indicators of crossfit® performance. *Sports*, 7(4), 93.
  16. DiFiori, J. P., Benjamin, H. J., Brenner, J. S., Gregory, A., Jayanthi, N., Landry, G. L., & Luke, A. (2014). Overuse injuries and burnout in youth sports: a position statement from the American Medical Society for Sports Medicine. *British journal of sports medicine*, 48(4), 287-288.
  17. Drum, S. N., Bellovary, B. N., Jensen, R. L., Moore, M., & Donath, L. (2017). Perceived demands and postexercise physical dysfunction in CrossFit® compared to an ACSM based training session. *Journal Sports Medicine Physiotherapy Fitness*, 57(5), 604-9.
  18. Durkalec-Michalski, K., Zawieja, E. E., Podgórski, T., Łoniewski, I., Zawieja, B. E., Warzybok, M., & Jeszka, J. (2018). The effect of chronic progressive-dose sodium bicarbonate ingestion on CrossFit-like performance: A double-blind, randomized cross-over trial. *PloS one*, 13(5), e0197480.
  19. Feito, Y., Hoffstetter, W., Serafini, P., & Mangine, G. (2018). Changes in body composition, bone metabolism, strength, and skill-specific performance resulting from 16-weeks of HIFT. *PloS one*, 13(6), e0198324.

20. Feito, Y., Giardina, M. J., Butcher, S., & Mangine, G. T. (2019). Repeated anaerobic tests predict performance among a group of advanced CrossFit-trained athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 44(7), 727-735.
21. Fisker, F. Y., Kildegaard, S., Thygesen, M., Grosen, K., & Pfeiffer-Jensen, M. (2017). Acute tendon changes in intense CrossFit workout: an observational cohort study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 27(11), 1258-1262.
22. Fernández, J. F., Solana, R. S., Moya, D., Marin, J. M. S., & Ramón, M. M. (2015). Acute physiological responses during crossfit® workouts. *European Journal of Human Movement*, 35, 114-124.
23. Gisselman, A. S., Baxter, G. D., Wright, A., Hegedus, E., & Tumilty, S. (2016). Musculoskeletal overuse injuries and heart rate variability: Is there a link?. *Medical Hypotheses*, 87, 1-7.
24. Glassman, G. (2011). CrossFit training guide level 1. *The CrossFit Journal*, 217-222.
25. Grier, T., Canham-Chervak, M., McNulty, V., & Jones, B. H. (2013). Extreme conditioning programs and injury risk in a US Army Brigade Combat Team. *US Army Medical Department Journal*.
26. Hak, P. T., Hodzovic, E., & Hickey, B. (2013). The nature and prevalence of injury during CrossFit training. *Journal of strength and conditioning research*.
27. Heavens, K. R., Szivak, T. K., Hooper, D. R., Dunn-Lewis, C., Comstock, B. A., Flanagan, S. D., ... & Kraemer, W. J. (2014). The effects of high intensity short rest resistance exercise on muscle damage markers in men and women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(4), 1041-1049.
28. Jacob, N., Novaes, J. S., Behm, D. G., Vieira, J. G., Dias, M. R., & Vianna, J. M. (2020). Characterization of hormonal, metabolic, and inflammatory responses in CrossFit® training: A systematic review. *Frontiers in physiology*, 11, 1001.
29. Kephart, W. C., Pledge, C. D., Roberson, P. A., Mumford, P. W., Romero, M. A., Mobley, C. B., ... & Roberts, M. D. (2018). The three-month effects of a ketogenic diet on body composition, blood parameters, and performance metrics in CrossFit trainees: a pilot study. *Sports*, 6(1), 1.
30. Kliszczewicz, B., Markert, C. D., Bechke, E., Williamson, C., Clemons, K. N., Snarr, R. L., & McKenzie, M. J. (2021). Acute effect of popular high-intensity

- functional training exercise on physiologic markers of growth. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(6), 1677-1684.
31. Kliszcwicz, B., Williamson, C., Bechke, E., McKenzie, M., & Hoffstetter, W. (2018). Autonomic response to a short and long bout of high-intensity functional training. *Journal of Sports Sciences*, 36(16), 1872-1879.
  32. Kliszcwicz, B., Buresh, R., Bechke, E. E., & Williamson, C. M. (2017). Metabolic biomarkers following a short and long bout of high-intensity functional training in recreationally trained men. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12(3), 710.
  33. Kliszcwicz, B., Quindry, C. J., Blessing, L. D., Oliver, D. G., Esco, R. M., & Taylor, J. K. (2015). Acute exercise and oxidative stress: CrossFit™ vs. treadmill bout. *Journal of human kinetics*, 47, 81.
  34. Longe, J. L. (2012). CrossFit. *The Gale encyclopedia of fitness*, 1, 206-209.
  35. Malik, M. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use: Task force of the European Society of Cardiology and the North American Society for Pacing and Electrophysiology. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 1(2), 151-181.
  36. Mangine, G. T., Stratton, M. T., Almeda, C. G., Roberts, M. D., Esmat, T. A., VanDusseldorp, T. A., & Feito, Y. (2020). Physiological differences between advanced CrossFit athletes, recreational CrossFit participants, and physically-active adults. *PLoS One*, 15(4), e0223548.
  37. Mangine, G. T., Kliszcwicz, B. M., Boone, J. B., Williamson-Reisdorph, C. M., & Bechke, E. E. (2019). Pre-anticipatory anxiety and autonomic nervous system response to two unique fitness competition workouts. *Sports*, 7(9), 199.
  38. Mangine, G. T., Van Dusseldorp, T. A., Feito, Y., Holmes, A. J., Serafini, P. R., Box, A. G., & Gonzalez, A. M. (2018). Testosterone and cortisol responses to five high-intensity functional training competition workouts in recreationally active adults. *Sports*, 6(3), 62.
  39. Martínez-Gómez, R., Valenzuela, P. L., Barranco-Gil, D., Moral-González, S., García-González, A., & Lucia, A. (2019). Full-squat as a determinant of performance in CrossFit. *International journal of sports medicine*, 40(09), 592-596.
  40. Maté-Muñoz, J. L., Lougedo, J. H., Barba, M., Cañuelo-Márquez, A. M., Guodemar-Pérez, J., García-Fernández, P., ... & Garnacho-Castaño, M. V. (2018).

- Cardiometabolic and muscular fatigue responses to different crossfit® workouts. *Journal of sports science & medicine*, 17(4), 668.
41. Michnik, A., Sadowska-Krepa, E., Domaszewski, P., Duch, K., & Pokora, I. (2017). Blood serum DSC analysis of well-trained men response to CrossFit training and green tea extract supplementation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 130(3), 1253-1262.
  42. Montalvo, A. M., Shaefer, H., Rodriguez, B., Li, T., Epnere, K., & Myer, G. D. (2017). Retrospective injury epidemiology and risk factors for injury in CrossFit. *Journal of sports science & medicine*, 16(1), 53.
  43. Murawska-Cialowicz, E., Wojna, J., & Zuwała-Jagiello, J. (2015). Crossfit training changes brain-derived neurotrophic factor and irisin levels at rest, after wingate and progressive tests, and improves aerobic capacity and body composition of young physically active men and women. *J Physiol Pharmacol*, 66(6), 811-821.
  44. Poderoso, R., Cirilo-Sousa, M., Júnior, A., Novaes, J., Vianna, J., Dias, M., ... & Vilaça-Alves, J. (2019). Gender differences in chronic hormonal and immunological responses to CrossFit®. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(14), 2577.
  45. Schlegel, P., Režný, L., & Fialová, D. (2021). Pilot study: Performance-ranking relationship analysis in Czech crossfitters.
  46. Serafini, P. R., Feito, Y., & Mangine, G. T. (2018). Self-reported measures of strength and sport-specific skills distinguish ranking in an international online fitness competition. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(12), 3474-3484.
  47. Shaw, S. B., Dullabh, M., Forbes, G., Brandkamp, J. L., & Shaw, I. (2015). Analysis of physiological determinants during a single bout of Crossfit. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 809-815.
  48. Szivak, T. K., Hooper, D. R., Dunn-Lewis, C., Comstock, B. A., Kupchak, B. R., Apicella, J. M., ... & Kraemer, W. J. (2013). Adrenal cortical responses to high-intensity, short rest, resistance exercise in men and women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(3), 748-760.
  49. Tibana, R. A., Prestes, J., de Sousa, N. M. F., De Souza, V. C., Nóbrega, O. D. T., Baffi, M., ... & Voltarelli, F. A. (2019). Time-course of changes in physiological,

- psychological, and performance markers following a functional-fitness competition. *International Journal of Exercise Science*, 12(3), 904.
50. Tibana, R. A., De Sousa, N. M. F., Cunha, G. V., Prestes, J., Fett, C., Gabbett, T. J., & Voltarelli, F. A. (2018). Validity of session rating perceived exertion method for quantifying internal training load during high-intensity functional training. *Sports*, 6(3), 68.
  51. Tibana, R. A., De Almeida, L. M., Frade de Sousa, N. M., Nascimento Dda, C., Neto, I. V., De Almeida, J. A., ... & Prestes, J. (2016). Two consecutive days of crossfit training affects pro and anti-inflammatory cytokines and osteoprotegerin without impairments in muscle power. *Front Physiol*, 7(6), 260.
  52. Timón, R., Olcina, G., Camacho-Cardenosa, M., Camacho-Cardenosa, A., Martinez-Guardado, I., & Marcos-Serrano, M. (2019). 48-hour recovery of biochemical parameters and physical performance after two modalities of CrossFit workouts. *Biology of sport*, 36(3), 283-289.
  53. Thompson, W. R. (2017). Worldwide survey of fitness trends for 2018: the CREP edition. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 21(6), 10-19.
  54. Weisenthal, B. M., Beck, C. A., Maloney, M. D., DeHaven, K. E., & Giordano, B. D. (2014). Injury rate and patterns among CrossFit athletes. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 2(4), 2325967114531177.