

Nutritivni status vitamina D kod vrhunskih hrvatskih sportaša

Zonjić, Jadran

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:123598>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-04**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2022

Jadran Zonjić

**NUTRITIVNI STATUS VITAMINA
D KOD VRHUNSKIH HRVATSKIH
SPORTAŠA**

Rad je izrađen u Laboratoriju za znanost o prehrani na Zavodu za poznavanje i kontrolu sirovina i prehrambenih proizvoda Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof.dr.sc. Zvonimira Šatalića, te uz pomoć mag. pharm. Mimi Vurdelje, HOO.

ZAHVALA

Od srca hvala mojoj dragoj mentorici, mag. pharm. Mimi Vurdelji na ukazanoj prilici da posljednjih šest godina iz prve ruke učim kako raditi s vrhunskim sportašima. Hvala Vam na predivnom iskustvu, neizmjernoj podršci te svim savjetima koji su mi pomogli ne samo biti bolji nutricionist, već i bolji čovjek. Također veliko hvala na trudu oko prikupljanja podataka za ovo istraživanje, bez Vas ovaj rad ne bi bio moguć.

Posebno hvala prof. dr. sc. Zvonimiru Šataliću na izvrsnom mentorstvu, utrošenom vremenu, strpljenju, pomoći pri obradi podataka te konstantnoj pomoći u usklađivanju fakultetskih i sportskih obaveza tijekom cijelog trajanja studija.

Iako je teško navesti sve osobe koje su kroz podršku, savjete, druženja te lijepe uspomene obilježili studentske dane, prvenstveno bih se zahvalio ekipi s veslanja, društvu iz teretane, dragim prijateljima iz „podruma“ te družini s kviza.

Na posljetku, veliko hvala mojoj „tihoj“ vojsci; majci Sandri i ocu Nenadu te braći Mihovilu i Mateju na bezuvjetnoj podršci, strpljenju, svakodnevnoj pomoći te neiscrpnj motivaciji da budem što bolja verzija sebe.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Zavod za poznavanje i kontrolu sirovina i prehrambenih proizvoda

Laboratorij za znanost o prehrani

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Nutricionizam

Diplomski sveučilišni studij: Nutricionizam

NUTRITIVNI STATUS VITAMINA D KOD VRHUNSKIH HRVATSKIH SPORTAŠA

Jadran Zonjić, univ. bacc. nutr. 0058209538

Sažetak: Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi status vitamina D kod vrhunskih hrvatskih sportaša tijekom lipnja i napraviti sustavni pregled literature koja govori o statusu vitamina D kod sportaša diljem svijeta. U istraživanje je uključeno 20 vrhunskih hrvatskih sportaša koji su osvajači medalja na europskim i svjetskim prvenstvima te Olimpijskim igrama. Koncentracije 25(OH)D (kalcidiola) u serumu bile su: <50 nmol/L (deficijencija vitamina D) kod 2 sportaša (10 %), od 50-75 nmol/L (insuficijencija) kod njih 9 (45 %), a samo je 9 ispitanika imalo koncentraciju >75 nmol/L koja se smatra suficijentnom. Ovi rezultati nešto su lošiji u usporedbi s rezultatima iz 18 studija provedenih od 2020. do 2022. u kojima se određivao status 25(OH)D, naime 55 % hrvatskih sportaša imalo je neadekvatnu razinu vitamina D u usporedbi s 35,1 % iz ostalih nedavnih studija. Potrebna su dodatna istraživanja na sportašima kako bi se uočila uzročno-posljedična veza statusa 25(OH)D i sportske izvedbe, ali i bolja edukacija sportaša o važnosti vitamina D.

Ključne riječi: *vitamin D, vrhunski sportaši, 25(OH)D, sport*

Rad sadrži: 45 stranica, 5 slika, 5 tablica, 161 literaturni navod, 2 priloga

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u: Knjižnica Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: prof. dr. sc. Zvonimir Štalić

Pomoć pri izradi: mag. pharm. Mimi Vurdelja

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:

1. izv. prof. dr. sc. Marina Krpan
2. prof. dr. sc. Zvonimir Štalić
3. prof. dr. sc. Ines Panjkota Krbavčić
4. izv. prof. dr. sc. Irena Keser

Datum obrane: 22. rujna 2022

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Department of Food Quality Control
Laboratory for Nutrition Science

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Nutrition

Graduate university study programme: Nutrition

NUTRITIONAL STATUS OF VITAMIN D IN ELITE CROATIAN ATHLETES

Jadran Zonjić, univ. bacc. nutr. 0058209538

Abstract: The aim of this research was to determine vitamin D status of elite Croatian athletes during June and to make a systematic review of new literature about vitamin D status of athletes around the world. This research included 20 elite Croatian athletes that won medals at European, world championships and/or the Olympic games. 25(OH)D (calcidiol) concentrations in serum were: <50 nmol/L (vitamin D deficiency) in 2 athletes (10 %), 50-75 nmol/L (insufficiency) in 9 (45 %), and only 9 athletes had a concentration >75 nmol/L, which is considered sufficient. These results are even lower compared to results from 18 studies conducted from 2020-2022 in which 25(OH)D status was determined, namely 55 % of Croatian athletes had inadequate vitamin D levels compared to 35.1 % athletes in other recent studies. Additional research on athletes is needed in order to observe the cause-and-effect relationship between 25(OH)D status and sports performance, as well as better education of athletes about the importance of vitamin D.

Keywords: *vitamin D, elite athletes, 25(OH)D, sport*

Thesis contains: 45 pages, 5 figures, 5 tables, 161 references, 2 supplements

Original in: Croatian

Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) form is deposited in: The Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb.

Mentor: Zvonimir Štalić, PhD, Full professor

Technical support and assistance: *Mimi Vurdelja, mag. pharm.*

Reviewers:

1. izv. prof. dr. sc. Marina Krpan
2. prof. dr. sc. Zvonimir Štalić
3. prof. dr. sc. Ines Panjkota Krbavčić
4. izv. prof. dr. sc. Irena Keser

Thesis defended: September 22nd, 2022

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. VITAMIN D.....	2
2.2. FIZIOLOŠKA ULOGA VITAMINA D.....	4
2.2.1. Vitamin D i zdravlje kostiju.....	4
2.2.2. Vitamin D i imunološki sustav.....	5
2.2.3. Vitamin D i mišićni sustav	5
2.2.3.1. Ekspresija VDR u mišićima	5
2.2.3.2. Mišići kao skladište vitamina D.....	6
2.2.3.3. Utjecaj vitamina D na mišićna tkiva	7
2.2.3.4. Utjecaj vitamina D na mišićna tkiva sportaša	7
2.2.4. Vitamin D, sportska izvedba i maksimalni primitak kisika kod sportaša	8
2.2.5. Preporučeni dnevni unos vitamina D	12
2.2.6. Biološka iskoristivost 25(OH)D i prehrambeni izvori	13
2.2.7. Mogući razlozi individualnih različitosti u potrebama za vitaminom D.....	15
2.2.8. Mjerenje 25(OH)D	16
3. EKSPERIMENTALNI DIO	17
3.1. ISPITANICI	17
3.2. METODE PRIKUPLJANJA PODATAKA	17
3.3. OBRADA PODATAKA.....	18
4. REZULTATI I RASPRAVA	19
4.1. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA O NUTRITIVNOM STATUSU VITAMINA D KOD SPORTAŠA U POSLJEDNJE TRI GODINE	22
4.2. USPOREDBA PRETHODNO UTVRĐENIH REZULTATA S EKSPERIMENTALNIM REZULTATIMA NA HRVATSKIM SPORTAŠIMA.....	25
5. ZAKLJUČCI.....	29
6. LITERATURA.....	30
7. PRILOZI	
7.1. LETAK VITAMIN D - PRAKTIČNI SAVJETI ZA HRVATSKE SPORTAŠE	
7.2. DOPIS ZDRAVSTVENE KOMISIJE HOO-a	

1. UVOD

Vitamin D dobro je poznat po svojoj ulozi u regulaciji kalcija i fosfora u tijelu te zdravlju kostiju, ali novija istraživanja govore o središnjoj ulozi vitamina D i u drugim vitalnim tjelesnim procesima kao što su: signalni odgovor gena, sinteza proteina i hormona, imunološki odgovor te regeneraciju stanica (Ogan i Pritchett, 2013). Sve veći broj znanstvenih istraživanja pleiotropnu prirodu vitamina D pripisuju tome što su vitamin D receptori (VDR) pronađeni u gotovo svakoj stanici ljudskog tijela, reguliraju ekspresiju preko 900 varijanti gena (Wang i sur., 2005) te utječu na održavanje normalne funkcije mišićnih stanica (Owens i sur., 2018). Kako je vitamin D pronađen i u skeletnim mišićima, povećao se broj istraživanja o utjecaju vitamina D na sportaše i sportsku izvedbu. Do danas je poznato da diljem Europe i SAD-a postoji prevalencija niskog statusa koncentracije vitamina D u krvi (<50 nmol/L (EFSA, 2016)) kod opće populacije (Cashman i sur., 2016; González-Gross i sur., 2012; Ginde i sur., 2009). Društvo za adolescentno zdravlje i medicinu (SAHM) i Endokrinološko društvo smatraju da je suficijentna koncentracija 25(OH)D (kalcidiola) u krvi >75 nmol/L (Harel i sur., 2013; Holick i sur., 2011). Tako su definirane i hrvatske smjernice prema kojima preporučena koncentracija vitamina D u krvi iznosi 75 – 125 nmol/L. Nadalje, raspon od 50–75 nmol/L smatra se insuficijencijom, <50 nmol/L deficijencijom vitamina D, a koncentracije <30 nmol/L teškim nedostatkom vitamina D (Vranešić Bender i sur., 2016).

Trenutni podatci govore nam da od 16 % do 100 % sportaša nema suficijentnu koncentraciju 25(OH)D-a u serumu te da se razlikuje ovisno o geografskoj širini, godišnjem dobu, spolu, vrsti sporta, rasi i socijalno-kulturološkim faktorima (Valtueña i sur., 2021; Kosor, 2020; Close i sur., 2013; Constantini i sur., 2010; Hamilton i sur., 2010; Lovell, 2008). Iako postoji potreba za istraživanjem vitamina D u sportu u Hrvatskoj je do sada objavljeno samo dva istraživanja na mladim nogometašima te povezanosti statusa vitamina D i sportske izvedbe (Kosor, 2020; Perić i sur., 2020). Cilj ovog istraživanja bio je odrediti status vitamina D kod vrhunskih hrvatskih sportaša te usporediti ih s obzirom na spol, vrstu sporta te starost sportaša.

2. TEORIJSKI DIO

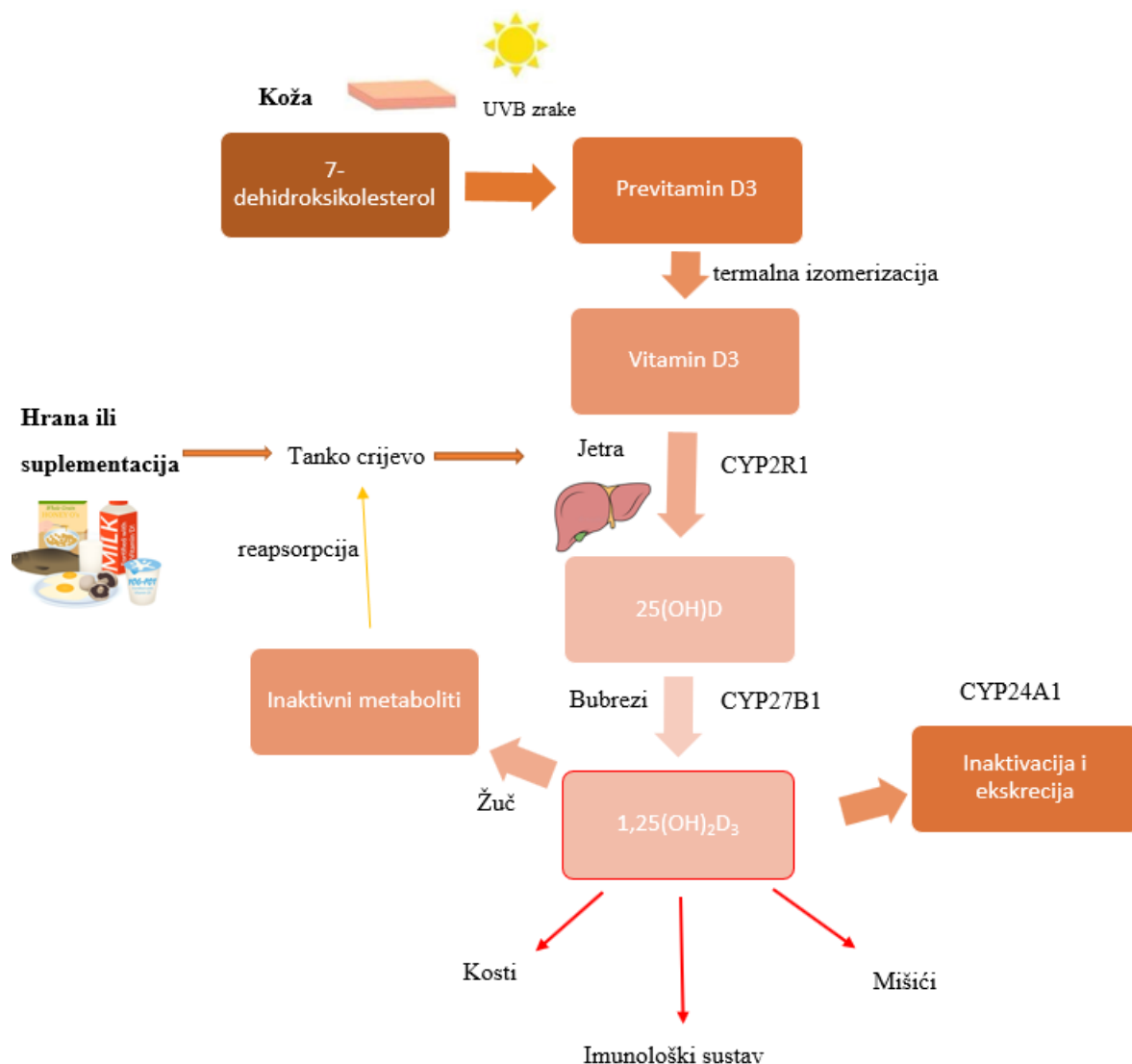
2.1. VITAMIN D

Za razliku od ostalih vitamina koji se u organizam unose ponajviše prehranom ili dodacima prehrani, vitamin D se može sintetizirati u organizmu, tj. u koži, pod utjecajem UVB zraka, fotokemijskom neenzimskom reakcijom iz prekursora 7-dehidrokolesterola (provitamin D₃) nastaje kolekalciferol (previtamin D₃), koji je prirodno nestabilan i odmah, termalnom izomerizacijom prelazi u vitamin D₃ (kolekalciferol) te se apsorbira u krv (Basit, 2013).

Prehrambenim izvorima unese se otprilike 20 % vitamina D (vitamin D₂ ili D₃), dok se ostalih 80 % sintetizira putem kože iz 7-dihidrokoolesterola (Sassi i sur., 2018). Prehrambeni vitamin D (vitamin D₂ ili D₃) se apsorbira u tankom crijevu (Silva i Furlanetto, 2018). Apsorpcija vitamina D se pospješuje kada se unosi s hranom koja sadrži masti. Prisutnost masti u lumenu crijeva pokreće oslobađanje žučnih soli koje su bitne za proces emulgiranja masti i stvaranja micela koje difundiraju u enterocite (Mulligan i Licata, 2010). Vitamin D se zatim apsorbira putem hilomikrona u limfu i ulazi u cirkulaciju gdje se veže na vitamin D vezujući protein (VDBP) (Silva i Furlanetto, 2018).

U cirkulaciji je od 85 do 90 % vitamina D vezano VDBP, od 10 do 15 % za albumin, dok je manje od 1 % prisutno u slobodnom obliku (Bikle, 2014).

Kako bi postali biološki aktivni, sintetizirani i hranom uneseni vitamini D₂ i D₃ aktiviraju se hidroksilacijom (slika 1). Prva hidroksilacija odvija se u jetri gdje pod djelovanjem enzima 25-hidroksilaze nastaje 25(OH)D (kalcidiol), glavni cirkulirajući oblik vitamina D. U bubregu se u proksimalnim tubulima, drugom hidroksilacijom, 25(OH)D pretvara u 1,25(OH)₂D₃ (kalcitriol), najaktivniji cirkulirajući oblik vitamina D (Kosor, 2020).



Slika 1. Endogena sinteza i metabolizam vitamina D (prema Keane i sur., 2018)

CYP - citokrom P450; UVB - ultraljubičaste B zrake; 25(OH)D - (kalcidiol); 1,25(OH)₂D₃ (kalcitriol)

Vitamin D može djelovati na dva načina, genomskim i negenomskim mehanizmima. Genomski (spori) učinak započinje vezanjem vitamina D za VDR u jezgri stanice. Kompleks vitamina D i VDR-a potiče heterodimerizaciju s retinoidnim X receptorom (RXR). Novonastali kompleks dovodi do transkripcijske supresije ili aktivacije gena vežući se za vitamin D osjetljivo mjesto na DNA (engl. *vitamin D response element, VDRE*) (Norman, 2006 prema Kosor 2020). Vitamin D ostvaruje negenomski, brzi učinak vezanjem za membranski VDR, pokrećući kaskadu događaja koja rezultira unutarstaničnom sintezom drugog glasnika ili fosforilacijom proteina i time aktivacijom unutarstaničnih enzima ili ionskih kanala te u konačnici modulacijom

staničnih procesa (Hii i Ferrante, 2016 *prema* Kosor, 2020).

2.2. FIZIOLOŠKA ULOGA VITAMINA D

2.2.1. Vitamin D i zdravlje kostiju

Glavna uloga vitamina D u tijelu je signaliziranje apsorpcije kalcija i fosfata iz crijeva. Izuzetno je važno održavati normalnu razinu kalcija u serumu, jer je ona potrebna za mineralizaciju kostiju, kontrakciju mišića, živčanu provodljivost i mnoge druge stanične funkcije (Anderson i sur., 2003). Ovakva regulacija koncentracije kalcija u krvi postiže se složenim, fiziološkim sustavom koji uključuje interakciju kalcitropnih hormona; kalcitriola, paratiroidnog hormona (PTH) i kalcitonina (CT) sa specifičnim ciljnim tkivima (bubrezi, kosti i crijeva) (Cashman, 2002). Ako se koncentracija kalcija spusti ispod normalne razine koncentracije, paratiroidne žlijezde luče PTH. Povećano izlučivanje PTH-a stimulira 1α -hidroksilazu (CYP27B1) u bubregu, koja zatim povećava sintezu $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$. To rezultira povećanom apsorpcijom kalcija iz crijeva, smanjenim izlučivanjem kalcija bubrezima, povećanom resorpcijom kalcija iz kosti i time normalizacijom razine kalcija u krvi (Lieben L i Carmeliet, 2013; Kosor, 2020). Apsorpcija kalcija odvija se preko crijevnih apsorpcijskih stanica (enterocita) putem aktivnog transporta preko $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, ali i pasivnom difuzijom kroz međustanični prostor (Mason i sur., 2011). Dobro je utvrđeno djelovanje $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ u enterocitima koje rezultira povećanjem priljeva kalcija kroz apikalni kalcijev kanal, nakon čega slijedi translokacija kroz stanicu, a zatim otpuštanje kroz membranu plazme pomoću adenzin trifosfat pumpe (Grigs i Brennan, 2021). Kronično niske koncentracije vitamina D povećavanjem resorpcije kalcija iz kostiju dovode do rizika od ozljeda kostiju (Ogan i Pritchett, 2013). Vitamin D uz dovoljan unos kalcija omogućuje normalnu mineralizaciju kostiju i kalcifikaciju ploče rasta, a posljedice njegovog manjka osobito su izražene u dječjoj dobi zbog toga što je to doba najintenzivnijeg rasta i razvoja (Kosor, 2020). Ova kaskada događaja tako može dovesti do poznatih kliničkih stanja koja su se često javljala kroz povijest, rahitisa kod djece i osteomalacije kod odraslih (Laktašić-Žerjavić i sur., 2011). Osim navedenog, moguće je da granični manjak vitamina D može spriječiti djecu i adolescente u dostizanju svoje genetski programirane visine i vršne koštane mase (Cheng i sur., 2003; Lehtonen-Veromaa i sur., 2002; Outila i sur., 2001).

2.2.2. Vitamin D i imunološki sustav

Zanimanje za imunologiju vježbanja (istraživanja koja stavljaju u odnos fizičke, okolišne i psihološke faktore na imunološku funkciju) značajno se povećao u posljednjih 30 godina zbog istraživanja prevalencije infekcija respiratornog trakta kod vrhunskih sportaša te njihove povezanosti sa sportskom izvedbom (Nieman i Wentz, 2019). Otkriveno je kako imunološka funkcija može biti ugrožena pretreniranošću, psihičkim stresorima, poremećenim obrascima spavanja te neadekvatnom prehrana (Walsh i sur., 2011.). Među mnogim mogućim ulogama vitamina D ima u organizmu, postoje dokazi za povezanost između niskog statusa vitamina D i bolesti (Berry i sur., 2011). Nadalje, vitamin D ima imuno - modulatorni učinak na T i B limfocite u stečenom imunitetu a to što monociti, makrofagi i neutrofilni također imaju vitamin D receptor (VDR) i 1 – alfa – hidroksilazu sugerira da je vitamin D funkcionalno važan za imunološki sustav (Owens i sur. 2018). U istraživanju He i sur. (2015) na vrhunskim sportašima također je uočeno da grupa koja je imala deficitarn status vitamina D u krvi je imala veću incidenciju akutnih infekcija respiratornog trajanja koje duže trajale u odnosu na suficijentne ispitanike. Zaštitni učinci suplementacije vitaminom D na akutnu infekciju respiratornog trakta bili su najveći unutar skupine s nedostatkom 25(OH)D (<25 nmol/l) (Martineau i sur., 2016; He i sur., 2015).

Vitamin D može smanjiti upale inhibiranjem proizvodnje proupalnih citokina kao što je IL-6, koji potiče pretvorbu monocita u makrofage, povećavajući proizvodnju dodatnih proupalnih citokina. Rezultat je da vitamin D smanjuje proizvodnju proupalnih citokina, uključujući IFN- α , IL-2 i TNF- α (Hennigar i sur., 2017; Steinacker i sur., 2004)

Ovi rezultati se poklapaju i s prijašnjim istraživanjima na sportašima, ali su potrebna daljnja istraživanja kako bi se utvrdilo ima li suplementacija vitaminom D dodatne pozitivne učinke kod suficijentnih sportaša (Wilson-Barnes i sur., 2020).

2.2.3. Vitamin D i mišićni sustav

2.2.3.1. Ekspresija VDR u mišićima

Nakon dugo vremena postoje čvrsti dokazi kako zaista postoji ekspresija VDR – a u mišićima, ali na vrlo niskoj razini kod odraslih, a uočeno je kako je njegova ekspresija pojačana kada postoji ozljeda (Girgis i Brennan-Speranza, 2021). VDR u mišićnim stanicama prevladava u

stanicama prekursorima te u razvoju i obnavljanju mišićnih vlakana. Njegova se aktivnost u ovom tkivu povezuje s razvojem mišića i pleiotropijom (Girgis i Brennan-Speranza, 2021). VDR–vitamin D kompleks također regulira sintezu NO putem endotelne NOS (eNOS) aktivnosti (Sureda i sur., 2007). Regulirana proizvodnja NO može poboljšati endotelnu funkciju promicanjem angiogene aktivnosti endotelnih stanica (Brandenburg i sur., 2012)

2.2.3.2. Mišići kao skladište vitamina D

Poluživot $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ te proteina vezanja vitamina D (engl. *Vitamin D binding protein, VDBP*) je samo nekoliko dana (Haddad i sur., 1981). Uzmemo li još u obzir ovisnost o izlaganju UVB zračenju, a samim time i sezonske varijacije za sintezu vitamina D, lipofilnu prirodu slobodnog vitamina D te činjenicu da se izdvaja iz masnog tkivu pretilih pacijenata, malo je vjerojatno da se vitamin D iz masnog tkiva može mobilizirati i prema potrebi puštati u cirkulaciju (Girgis i Brennan-Speranza, 2021). Iako $25(\text{OH})\text{D}$ može proći u i iz mišićnih stanica pasivnim transportom, pokazalo se da vezni protein, VDBP ovisi o prisutnosti megalina, receptora koji se nalazi u proksimalnim tubulima bubrega (Abboud i sur., 2013). Istraživanja pokazuju da se VDBP veže unutarstanično za aktin skeletnih mišića (Gressner i sur., 2008), stoga je najizglednije da se vitamin D pohranjuje u mišićima u kompleksu s VDBP vezan za aktin koji kada se proteolizira omogućava oslobađanje slobodnog $25(\text{OH})\text{D}$ natrag u cirkulaciju u uvjetima kada je izloženost UVB zrakama niska (Girgis i Brennan-Speranza, 2021).

Unos $25(\text{OH})\text{D}$ u mišiće inhibira paratiroidni hormon (PTH) koji djeluje na PTH receptore u sarkolemi, što ukazuje na međuodnos između vitamina D i kalcotropnih hormona kod održavanja homeostaze kalcija čak i unutar skeletnih mišića (Abboud i sur., 2017).

Budući da PTH stimulira ekspresiju CYP27B1 u bubrežima, moguće je da tijekom uvjeta niskog kalcija PTH usmjerava $25(\text{OH})\text{D}$ što dalje od skladištenja u mišićima te pospješuje bubrežnu konverziju $25(\text{OH})\text{D}$ supstrata CYP27B1 u $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ (Girgis i Brennan-Speranza, 2021). Prema tome, skeletni mišići predstavljaju aktivno skladište za vitamin D, igrajući novoistraženu ulogu u održavanju cirkulirajuće razine vitamina D tijekom razdoblja niske izloženosti UVB zrakama.

2.2.3.3. Utjecaj vitamina D na mišićna tkiva

In vitro je dokazano da vitamin D ima aktivnu ulogu u sazrijevanju mišića jer se, zahvaljujući signalu koji posreduje VDR, mioblasti mogu diferencirati u miocite (Tanaka i sur., 2014 prema Kosor, 2020). Vitamin D također regulira ekspresiju IGF-a 1 (engl. *insulin-like growth factor-1*) (Ameri i sur., 2013) koji ima dobro prepoznatljivu ulogu u mišićnoj hipertrofiji i pregradnji (Kraemer i Ratamess, 2005). IGF-1, koji se uglavnom sintetizira u jetri i prenosi krvotokom vezan na IGFBP-3 (engl. *insulin like growth factor binding protein 3*), jedna je od ključnih komponenti u regeneraciji mišića te može potaknuti proliferaciju, diferencijaciju i hipertrofiju mišića (Ameri i sur., 2013; Schertzer i sur., 2007). Vitamin D može regulirati ekspresiju IGFBP-a 3 jer se u promotorskom dijelu gena IGFBP-a 3 nalazi VDRE. To može dovesti do većih cirkulirajućih koncentracija IGFBP-a 3 i time produljiti vrijeme uklanjanja IGF-a 1 iz krvotoka (Hamilton, 2010; Liao i sur., 2008 prema Kosor 2020).

Osim genomskih učinaka, vitamin D djeluje i brzim, negenomskim putem. Regulacijom kalcijevih kanala, on modificira transport kalcija u sarkoplazmatski retikulum koji utječe na mišićnu kontrakciju (Bello i sur., 2021; Srikuea i sur., 2012).

U randomiziranim kontrolnim studijama Owens i sur. (2015), Baker i sur. (2013a), Baker i sur. (2013b) uočeno je da podizanje serumske koncentracije 25(OH)D na >75 nmol/L ima pozitivan utjecaj na povratak snage nakon vježbanja. Agergaard i sur. (2015) su u istraživanju na 40 neutreniranih mladih i starih muškaraca uz suplementaciju vitamina D₃ (1920 IU) + 800mg kalcija dnevno zamijetili kako je došlo do promjene u tipu mišićnih vlakana (više IIA vlakana) koja su odgovorna za eksplozivne kretanje. Unatoč tome, nije došlo do značajne razlike u snazi i hipertrofiji između grupa.

Također utvrđena je povezanost između nedostatka vitamina D i miopatije. Miopatiju karakterizira degeneracija mišićnih vlakana i atrofija mišića, klinički karakterizirana slabošću, smanjenjem izdržljivosti, trajnom upalom i infiltracija imunoloških i upalnih stanica u skeletne mišiće (Ceglia i Harris, 2013; Ceglia, 2008). Slabost skeletnih mišića obično dolazi uz ozljede ili oštećenja mišića.

2.2.3.4. Utjecaj vitamina D na mišićna tkiva sportaša

VDR i enzimi za metabolizam vitamina D prisutni su kroz cijeli reproduksijski sustav kod muškaraca, uključujući Leydigove stanice (Nimptsch i sur., 2012). Eksperimentalna

istraživanja pokazala su da je nedostatak vitamina D povezan s niskom koncentracijom testosterona (Lerchbaum i sur., 2019; Chen i sur., 2019). Niža koncentracija testosterona ima negativan učinak na anaboličke procese u tijelu sportaša. Visoka razina testosterona također poboljšava oporavak nakon vježbanja (Michalczyk i sur., 2019). Kortizol, kao glavni katabolički hormon, ima suprotan učinak. Neki autori potvrđuju da oralni unos vitamina D povećava testosteron i u isto vrijeme smanjuje razinu kortizola (Michalczyk i sur., 2020; Chen i sur., 2019; Mielgo-Ayuso i sur., 2018; Pilz i sur., 2011) međutim, druge studije ne potvrđuju takve učinke (Saha i sur., 2018; Lerchbaum i sur., 2017).

Ima li vitamin D sposobnost da izazove bilo kakve mjerljive učinke na funkciju skeletnih mišića kod mladih, utreniranih sportaša je još uvijek dosta diskutabilno. Štoviše, rezultati dosadašnjih istraživanja nisu dovoljno konstantni, neke studije izvješćujući o pozitivnom učinku vitamina D (Wyon i sur., 2014; Close i sur., 2013) dok druge nisu primijetile značajan učinak (Hamilton i sur., 2014; Owens i sur., 2014). Mnogi prethodni pregledni radovi govore o ulozi vitamina D i mišićnoj funkciji sportaša, ali koriste se podacima istraživanja na neaktivnim osobama ili rekreativcima (Owens i sur., 2018). Vrhunski sportaši tipično imaju malo prostora za napredak zbog visoke razine treniranosti. Dakle, samo izravno promatranje učinaka na visoko utreniranoj, sportskoj populaciji može dati smislene i primjenjive rezultate koji se odnose na vrhunsku sportsku izvedbu.

Međutim, mnoga istraživanja pokazuju da deficijencija vitamina D može negativno utjecati na sportsku izvedbu kao rezultat neadekvatnog oporavka, a čini se da postoji povezanost i sa smanjenjem mišićne mase i snage (Schuler i sur., 2016; Visser i sur., 2003). Može se zaključiti da bi vitamin D mogao biti učinkovit, ako postoji nedostatak i/ili ako postoji izrazito povećana mišićna aktivnost, kao što su treninzi visokog intenziteta u vrijeme natjecateljskog perioda (Bello i sur., 2021).

2.2.4. Vitamin D, sportska izvedba i maksimalni primitak kisika kod sportaša

VDR-ovi su također pronađeni u miokardu (Reddy i sur., 2010) što ukazuje da kalcitrol može biti povezan s maksimalnim primitkom kisika (VO_2max) tj. sposobnosti transporta i iskorištavanja kisika u različitim tkivima (Dahlquist i sur., 2015). Općenito, uočeno je da postoji pozitivna korelacija između razina 25(OH)D i VO_2max kod fizički neaktivnih osoba (Gregory i sur., 2013; Ardestani i sur., 2011), a istraživanja na vrhunskim sportaša imala su oprečne rezultate. Koundourakis i sur. (2014) ustanovili su povezanost 25(OH)D razine s VO_2max kod

67 profesionalnih nogometaša. Forney i sur. (2014) proučavali su grupu fizičkih aktivnih muških studenata i primijetili da su oni s razinom 25(OH)D > 87,5 nmol/L imali značajno više VO₂max vrijednosti od onih s nižim razinama. Fitzgerald i sur. (2014) nisu primijetili povezanost 25(OH)D s VO₂max kod 52 profesionalna hokejaša na ledu. Može se zaključiti da je odnos između razine vitamina D i VO₂max u obrnutoj korelaciji s povećanom razinom tjelesne aktivnosti i razinom kondicije tj. što je razina treniranosti veća to će učinak vitamina D na VO₂max biti manji (Ardestani i sur., 2011).

Mehanizam na kojem se temelji povećanje VO₂max kalcitriolom još nije u potpunosti jasan. Pretpostavlja se da postoji povezanost s aktivacijom citokroma P450 (CYP) aktivacijom 1,25(OH)₂D₃. CYP sadrži hem kao protetičku skupinu, koja potencijalno može povećati sposobnost vezanja hemoglobina za kisik (Sugimoto i Shiro, 2012).

Rezultati studija u kojima je vitamin D dodan u prehranu u obliku suplementa sportašima su kontradiktorni. Neki od njih pokazali su pozitivne učinke suplementacije vitaminom D na snagu i sportsku izvedbu (Wyon i sur., 2014; Close i sur., 2013a), dok drugi nisu (Fairbairn i sur., 2018; Shanely i sur., 2014; Close i sur., 2013b). Detaljan popis istraživanja suplementacije vitaminom D i sportske izvedbe prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Učinci suplementacije vitaminom D na sportsku izvedbu i $VO_2\max$ (maksimalni primitak kisika) kod sportaša (prema Książek i sur., 2019)

Autori	Populacija	Količina suplementiranog vitamina D	Rezultati
Close i sur., 2013b	n = 30 M, profesionalni ragbijaši i nogometaši	20,000 ili 40,000 IU/tj. te placebo kroz 6 do 12 tj.	Nema povezanosti 25(OH)D s jakosti i snagom mišića
Close i sur., 2013a	n = 61 M, profesionalni nogometaši, ragbijaši i jahači	5000 IU/dnevno te placebo tijekom 8 tj.	Povećana visina okomitog skoka ($p = 0,008$)* i smanjeno vrijeme sprinta na 10 m ($p = 0,008$)* u odnosu na placebo
Mitchell, 2013	n = 54 Ž, plesačice, gimnastičarke i plivačice	50,000 IU/mj. te placebo kroz 6 tj.	Nema povezanosti 25(OH)D sa snagom stiska ruke, snagom mišića mjerene u izokinetičkim uvjetima te okomitom skoku
Jastrzebski, 2014	n = 14 M, profesionalni veslači	6000 IU/dnevno te placebo kroz 8 tj.	Povećane razine $VO_2\max$ ($p < 0,05$)* kod sportaša koji su primali vit. D u odnosu na placebo
Neiman i sur., 2014	n = 28 M, NASCAR vozači	3800 IU/dnevno te placebo kroz 6 tj.	Nema povezanosti između razina 25(OH)D i mišićne snage mjerene u izokinetičkim uvjetima, vertikalnom skoku, maksimalnoj sili i snazi mjerenoj u Wingate testu
Shanely i sur., 2014	n = 33 M, profesionalni nogometaši, tenisači i hrvači	600 IU/dnevno te placebo kroz 6 tj.	Nema povezanosti 25(OH)D s mišićnom snagom mjenom u izokinetički uvjeti ili vertikalni skok
Dubnov-Raz i sur., 2015	n = 50 M, odrasli plivači	2000 IU/dnevno te placebo kroz 12 tj.	Nema razlika u snazi stiska šake, plivačkom izvedbom na više udaljenosti između skupina
Wyon i sur., 2014	n = 24 Ž, profesionalne	2000 IU/dnevno te placebo kroz 4 mj.	Povećana izometrijska sila ($p < 0,01$)* i visina okomitog skoka (p

	balerine		< 0,01)* kod sportaša koji su primali suplemente vitamina D u usporedbi s placebo
Jastrzebska i sur., 2016	n = 36 M, nogometaši	5000 IU/dnevno te placebo kroz 8 tj.	Nema razlika u vršnoj snazi, ukupnom radnom kapacitetu, sprintu na 5, 10, 20, 30 m vremena izvođenja, visine SSP između skupina
Jastrzebska i sur., 2018	n = 36 M, nogometaši	5000 IU/dnevno te placebo kroz 8 tj.	Grupa koja je primala vitamin D pokazala je značajno povećanje VO ₂ max u usporedbi s placebo skupinom (p < 0,0001)*
Todd i sur., 2017	n = 43 M, nogometaši	3000 IU/dnevno te placebo kroz 12 tj.	Nema povezanosti između 25(OH)D i snage stiska lijeve/desne šake, a ni u visini SSP
Wyon i sur., 2016	n = 22 M, judaši	150 000 IU jednokratno te placebo kroz 8 dana	Suplementirana skupina pokazala je značajan porast mišićne snage između 1. i 8. dana (p = 0,01)*
Fairbairn i sur., 2018	n = 57 M, profesionalni ragbijaši	50 000 IU svako 2 tjedna te placebo kroz 11-12 tj.	Nema razlike u vremenu sprinta od 30 m, povlačenje s klupe 1RM i potisak s klupe 1RM između skupina. Suplementirana skupina pokazala je značajan porast u zgibovima s opterećenjem 1RM (p = 0,002)*
Skalska i sur., 2019	n = 36 M, mladi nogometaši	5000 IU/dnevno te placebo kroz 8 tjedana	Nema razlika u pokazateljima tjelesne aktivnosti između grupa

*Statistička značajnost između kategorija testirana je pomoću t-testa (p < 0,05)

M - muškarci; Ž - žene; SSP- skok s pripremom; VO₂max- maksimalni primitak kisika; 1RM (engl. *one repetition maximum*) - maksimalna težina koja se može podići samo jednom; mj. - mjesec; tj. – tjedan; 25(OH)D - (kalcidiol); IU – internacionalne jedinice (engl. *international units*)

Na temelju trenutanih dokaza može se zaključiti da dodatak vitamina D može imati pozitivan učinak na snagu mišića donjih udova kod sportaša, ali nisu dokumentirani nikakvi značajni učinci na snagu mišića gornjih udova, snagu mišića te sprinterske sposobnosti. To bi moglo sugerirati da suplementacija vitaminom D različito utječe na različite mišićne sposobnosti i mišićne skupine kod sportaša (Książek i sur., 2019).

Mehanizmi različitog učinka suplementacije vitaminom D na snagu gornjih i donjih udova ostaje nerazjašnjena. Moguće je da ekspresija VDR-a u različitim mišićnim skupinama može doprinijeti na različite učinke između mišića donjih i gornjih udova (Zhang i sur., 2019; Bischoff-Ferrari i sur., 2004). Možda korištene metode za procjenu snage mišića gornjih udova ne daju dovoljno precizne rezultate, pa tako i ne ističu male promjene u prirastu snage u gornjim udovima. Štoviše, različite metode ispitivanja korištene za mjerenje statusa vitamina D mogle su dovesti do različitih vrijednosti 25(OH)D u serumu.

2.2.5. Preporučeni dnevni unos vitamina D

Nova saznanja vezana za metaboličke funkcije vitamina D dovela su do uspostavljanja novih preporuka povećanih s 10 na 15 µg dnevno za djecu i odrasle do 70 godina, te 20 µg dnevno za one starije (Institute of Medicine, 2011). Ove preporuke i dalje vrijede, iako su neki autori nedavno ukazali na moguće pogreške pri određivanju ovih preporuka te su procijenili kako bi stvarne preporuke trebale biti gotovo deset puta veće (Heaney i sur., 2015; Veugelers i Ekwaru, 2014). Ukupni unos vitamina D među odraslim osobama u Ujedinjenom Kraljevstvu je tipično ispod referentnog unosa hranjivih tvari za vitamin D, tj. kod muškaraca i žena (19–64 godine) u prosjeku konzumirajući 4,5 i 3,9 µg/dan (Roberts i sur., 2018). Heaney i sur. (2013) u istraživanju iz 2013. godine analizom podataka iz osam studija zapazili kako je doprinos endogene sinteze vitamina D₃ ljeti ekvivalentan unosu od tek 12,1 µg dnevno. Doza od 4000 IJ (internacionalnih jedinica)/dan (100 µg/dan) smatra se gornjom dopuštenom granicom, a podići će razinu vitamina D u serumu u nekoliko mjeseci (Grant i sur., 2020; Vranešić Bender i sur., 2016). Pokazalo se da tek doza od 50.000 IJ vitamina D na dan tijekom nekoliko mjeseci može uzrokovati intoksikaciju (Holick, 2006).

2.2.6. Biološka iskoristivost 25(OH)D i prehrambeni izvori

Gotovo sva hrana životinjskog podrijetla koja sadrži vitamin D₃, sadrži i često previđeni 25(OH)D, a poznato je da ovaj metabolit ima veću biološku dostupnost i aktivnost (Ovesen i sur., 2003). Za razliku od vitamina D čija apsorpcija ovisi o mastima i koji se uglavnom apsorbira u limfu, apsorpcija polarnijeg 25(OH)D znatno je brža i efikasnija, vjerojatno zbog toga što nije ovisna o mastima i jer se 25(OH)D direktno apsorbira u krv (u portalnu venu) (Hadži-Boškov, 2015). Stoga se 25(OH)D u hrani, kako bi bio usporediv s vitaminom D, korigira određenim faktorima. Različita istraživanja predlažu različite faktore korekcije, te se oni kreću od 1,5 do 8 (Taylor i sur., 2014; Ovesen i sur., 2003), a konsenzus još nije postignut. Primjerice, danska i britanska baza o kemijskom sastavu hrane koriste faktor 5 (Technical University of Denmark, 2009; Chan i sur., 1995) dok američke preporuke predlažu 1,5 (National Research Council, 1989). Prema nekim autorima faktor 5 se trenutno čini razumnom opcijom (Taylor i sur., 2014; Hadži-Boškov, 2015). Za razliku od vitamina D₃ koji se u najvećem udjelu nalazi u masnoj ribi, te u nešto manjoj količini u jajima, mliječnim proizvodima i mesu, 25(OH)D je najzastupljeniji u jajima i mesu, dok ga riba i mliječni proizvodi sadrže u manjim udjelima. Žumanjak sadrži oko 1 µg 25(OH)D u 100 g, raspon udjela u mesu i iznutricama je od oko 0,2 µg do 0,4 µg na 100 g, a u ribi i mliječnim proizvodima najčešće je niži od 0,1 µg na 100 g (Hadži-Boškov, 2015; Schmid i Walther, 2013; Ovesen i sur., 2003), a detaljan prikaz nalazi se u tablicama 2 i 3.

Tablica 2. Udio vitamina D₃ i 25(OH)D (kalcidiola) te potencijalno povećanje ukupnog sadržaja vitamina D u mesu, ribi i njihovim proizvodima[†]

Hrana	Vitamin D ₃ (µg/100 g)	25(OH)D (µg/100 g)	Korekcija 25(OH)D [‡] (µg/100 g)	Preračunati vitamin D [§] (µg/100 g)
<i>Meso i proizvodi od mesa</i>				
Govedina, greben	0,07	0,22	1,10	1,17
Govedina, pržolica	0,09	0,21	1,05	1,14
Goveđi loj	0,30	0,38	1,90	2,20
Piletina, koža	0,30	0,37	1,85	2,15
Piletina, tamno meso	0,09	0,14	0,70	0,79
Puretina, koža	1,14	0,25	1,25	2,39
Puretina, svijetlo i tamno meso	0,34	0,07	0,35	0,69
Svinjetina, slabina	0,50	0,17	0,85	1,35
Svinjska mast	0,48	0,19	0,95	1,43
<i>Riba i proizvodi ribarstva</i>				
Bakalar	6,90	-	-	6,90
Haringa, baltička	17,10	0,00	0,00	17,10
Losos, divlji	24,90	-	-	24,90
Losos, iz uzgoja	6,05	-	-	6,05
Losos, konzervirani	22,30	1,10	5,50	27,80
Orada	13,80	0,00	0,00	13,80
Pastrva, iz uzgoja	9,78	-	-	9,78
Skuša	8,50	-	-	8,50
Skuša, jetra	240,00	-	-	240,00
Tuna	6,94	-	-	6,94
Tuna, jetra	3250,00	-	-	3250,00

[†] Ukoliko nije drugačije navedeno, udio vitamina D odnosi se na sirovu hranu.

[‡] Korigiran faktorom 5 radi veće biološke iskoristivosti.

[§] Zbroj vitamina D₃ i korigiranog 25(OH)D.

Tablica 3. Udio vitamina D₃ i 25(OH)D (kalcidiola) te potencijalno povećanje ukupnog sadržaja vitamina D u mlijeku, mliječnim proizvodima i jajima† (prema Hadži-Boškov, 2015)

Hrana	Vitamin D ₃ (µg/100 g)	25(OH)D (µg/100 g)	Korekcija 25(OH)D‡ (µg/100 g)	Preračunati vitamin D (µg/100 g)
<i>Mlijeko i mliječni proizvodi</i>				
Jogurt	0,10	0,00	0,00	0,10
Maslac	0,60	0,07	0,37	0,96
Mlijeko, obrano	0,000	0,000	0,00	0,00
Mlijeko, djelomično obrano	0,005	0,004	0,02	0,03
Mlijeko, punomasno	0,042	0,007	0,04	0,08
Sir, edamer	0,11	0,05	0,25	0,36
Sir, svježi	0,07	-	-	0,07
Vrhnje, kiselo	0,21	-	-	0,21
Vrhnje, slatko	0,07	0,09	0,45	0,52
<i>Jaja</i>				
Jaje	2,50	0,65	3,25	5,75
Žumanjak	4,50	0,90	4,50	9,00

† Ukoliko nije drugačije navedeno, udio vitamina D odnosi se na sirovu hranu.

‡ Korigiran faktorom 5 radi veće biološke iskoristivosti.

§ Zbroj vitamina D₃ i korigiranog 25(OH)D.

2.2.7. Mogući razlozi individualnih različitosti u potrebama za vitaminom D

Mnogo je čimbenika koji mogu dovesti do varijabilnih razina 25(OH)D u serumu i različite potrebe za prehranbenim vitaminom D (Taylor i sur., 2019; Institute of Medicine in Washington, 2011). Na genetskoj razini postoje dokazi da na koncentraciju 25(OH)D u serumu utječe polimorfizam gena koji ima učinak na proizvodnju vitamina D putem kože, razine vitamin D vezujućeg proteina (engl. *vitamin D binding protein – DBP*) u serumu te na metabolizam vitamina D (Jiang i sur., 2018; Hong i sur., 2018). Tu su i brojni demografski faktori koji mogu

utjecati na rizik od niske razine 25(OH)D. Ovo uključuje jako pigmentiranu kožu (npr. osobe s afričkim, južno azijskim i bliskoistočnim nasljeđem), pretilost (moguće zbog većeg taloženja u masno tkivo ili oslabljene hidroksilacije do 25(OH)D u jetri), neke bolesti (autoimune bolesti, bolesti jetre, bubrega, celijakija, Cronova bolest, teži oblici malapsorpcije) ili lijekove, npr. antiepileptici, glukokortikoidi, antiestrogeni ili antiretrovirusni lijekovi te statini (Gröber i Kisters, 2012). Na sintezu vitamina D u koži izazvanu UVB zračenjem utječe godišnje doba, duljina dana, doba dana, naoblaka, zagađenje, sadržaj melanina u koži, korištenje kreme za sunčanje, vjerski običaji, način odijevanja te sama priroda sporta. Predlaže se da najmanje 20 % površine tijela bude izloženo suncu kroz 15-20 minuta kako bi se razina 25(OH)D u serumu povećala (Institute of Medicine in Washington, 2011). Dok će određeni pojedinci možda trebati veće izlaganje od navedenog, preporuke su izrađene uz pretpostavku da se ograničeno izlaže suncu zbog zabrinutosti javnog zdravstva od povećanog rizika raka kože (Fleet i Shapses, 2020; Wolf, 2010).

2.2.8. Mjerenje 25(OH)D

Mjerenje 25(OH)D je automatizirano i pristupačno, a komercijalne metode temeljene su na načelu metoda s ligandima (reakcijska smjesa sadržava protutijelo na dio molekule 25(OH)D). Metoda zlatnog standarda jest tekućinska kromatografija tandemska masena spektrometrija (engl. *Liquid chromatography tandem mass spectrometry – LCMS*) (Black i sur., 2015). Metode mjerenja 25(OH)D moraju biti usklađene prema Programu standardizacije vitamina D, a kalibrator sljediv prema referentnom standardu ovog analita SRM 2972 Nacionalnog instituta za standarde i tehnologiju Sveučilišta u Gentu. Unatoč kriterijima standardizacije metoda s ligandima, postoji znatna razlika u rezultatima između metoda, proizvođača i laboratorija. Dobra laboratorijska praksa nalaže sudjelovanje u vanjskoj kontroli kvalitete radi provjere postojanosti kvalitete mjernog postupka. Upravo zbog metodoloških manjkavosti preporučuje se provoditi mjerenja u istom laboratoriju (Vranešić Bender i sur., 2016).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ISPITANICI

U istraživanju su sudjelovali sportaši – višestruki osvajači medalja na velikim natjecanjima (europska, svjetska prvenstva i Olimpijske igre). Ispitanici su bili dobrog zdravlja i bez ozljeda u trenutku istraživanja te u pripremnom periodu za natjecanja. Prikupljanje podataka o ispitanicima obavljeno je tijekom lipnja 2022. godine. Prije prikupljanja podataka objašnjeni su tijek i svrha istraživanja, a potom je informirani pristanak uzet od strane svih uključenih ispitanika (prilog 2). Svi ispitanici su punoljetne osobe s barem 10 godina aktivnog treniranja. Ispitanici su vrhunski atletičari, veslači, kajakaši, gimnastičari i streljači.

3.2. METODE PRIKUPLJANJA PODATAKA

Za određivanje koncentracije 25(OH)D-a, u svakog od ispitanika je uzet uzorak od 5 ml venske krvi, natašte, prije jutarnjeg vježbanja u laboratoriju Poliklinike Croatia u Zagrebu. Razine 25(OH)D-a izmjerene su korištenjem komercijalno dostupnog Elecsys® Vitamin D testa pomoću Cobas e601 analizatora (Roche Diagnostics International Ltd., Rotkreuz, Švicarska). Test je predviđen za kvantifikaciju vitamina D na temelju kompetitivne vezujuće elektrokemoiluminiscentne tehnike. Raspon detekcije testa je 7,5 – 175 nmol/L 25(OH)D-a, a osjetljivost testa je 5 nmol 25(OH)D/L. Serumska razina vitamina D niža od 50 nmol/L ukazuje na deficijenciju vitamina D, razine između 50 i 75 nmol/L ukazuju na insuficijenciju, a razine između 75 i 150 nmol/L na suficijenciju vitamina D (Kosor, 2020; Vranešić Bender i sur., 2016).

Također napravljen je sustavni pregled literature, pretraživane su baze podataka Web of Science i Springer za istraživanja vitamina D na sportašima. Naglasak je stavljen na istraživanja nakon 2019., a rezultati radova do tada mogu se pronaći u radu Farrokhyar i sur. (2017) te interventne studije u tablici 1. (Książek i sur., 2019). Promatrana istraživanja uključivana su uz pomoć PICO kriterija (engl. *Population, Intervention, Comparison and Outcomes*) pri čemu je populacija uključivala ispitanike od 10 do 40 godina starosti iz bilo kojeg sporta. Intervencija ako je postojala bila je oralna suplementacija vitaminom D, usporedba je bila s placebo grupom ili bez

intervencije, a rezultati koji su se promatrali bili su vezani za status vitamina D te sportska izvedba i ozljede. U sustavni pregled su uključivane samo randomizirane kontrolirane studije i pregledni članci, a najveći dio njih prijavljivao je koncentraciju 25(OH)D u ng/mL ili nmol/L. Formula konverzije korištena u ovom radu je $1 \text{ ng/mL} = 2.5 \text{ nmol/L}$ (Harju i sur., 2022). Pretraživanje baza podataka obavljeno je u rujnu 2022. godine.

3.3. OBRADA PODATAKA

Prikupljeni podatci uneseni su u programske pakete Microsoft Office za obradu teksta te Microsoft Excel 2016 za izradu tabličnog prikaza. Najprije je provjeren normalitet distribucije rezultata korištenih varijabli Kolmogorov-Smirnovljevim testom. Nakon toga su izračunate aritmetička sredina, standardna devijacija, minimum i maksimum. T-test je korišten kao statistički postupak za testiranje značajnosti razlike između dvije grupe. U grupe su bili smješteni s obzirom na spol i dob (stariji od 30 godina i mlađi od 30 godina). Kada se određivala razlika u koncentracijama 25(OH)D, a sportaši su bili podijeljeni u grupe na temelju sporta kojim se bave koristila se One-way ANOVA test za neovisne uzorke.

Razina statističke značajnosti postavljena je na $P < 0,05$.

4. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom poglavlju prikazani su eksperimentalni rezultati provedeni na vrhunskim hrvatskim sportašima te se uspoređuje s do sada utvrđenim rezultatima novijih istraživanja nutritivnog statusa vitamina D kod sportaša diljem svijeta.

Trenutna istraživanja ukazuju kako veliki broj vrhunskih sportaša nema suficijentnu koncentraciju 25(OH)D-a u serumu te da se razlikuje ovisno o vremenskoj širini, godišnjem dobu, spolu, vrsti sporta, rasi i socijalno-kulturološkim faktorima (Valtueña i sur., 2021). Iako postoji potreba za istraživanjem vitamina D u sportu u Hrvatskoj je do sada objavljeno samo dva istraživanja na mladim nogometašima te povezanosti statusa vitamina D i sportske izvedbe (Kosor, 2020; Perić i sur., 2020). U ovom istraživanju određivao se status vitamina D kod vrhunskih hrvatskih sportaša te ga se usporedilo ih s obzirom na spol, vrstu sporta te starost sportaša (tablica 4). Rezultati su prikazani tablično i grafički uz tekstualno objašnjenje.

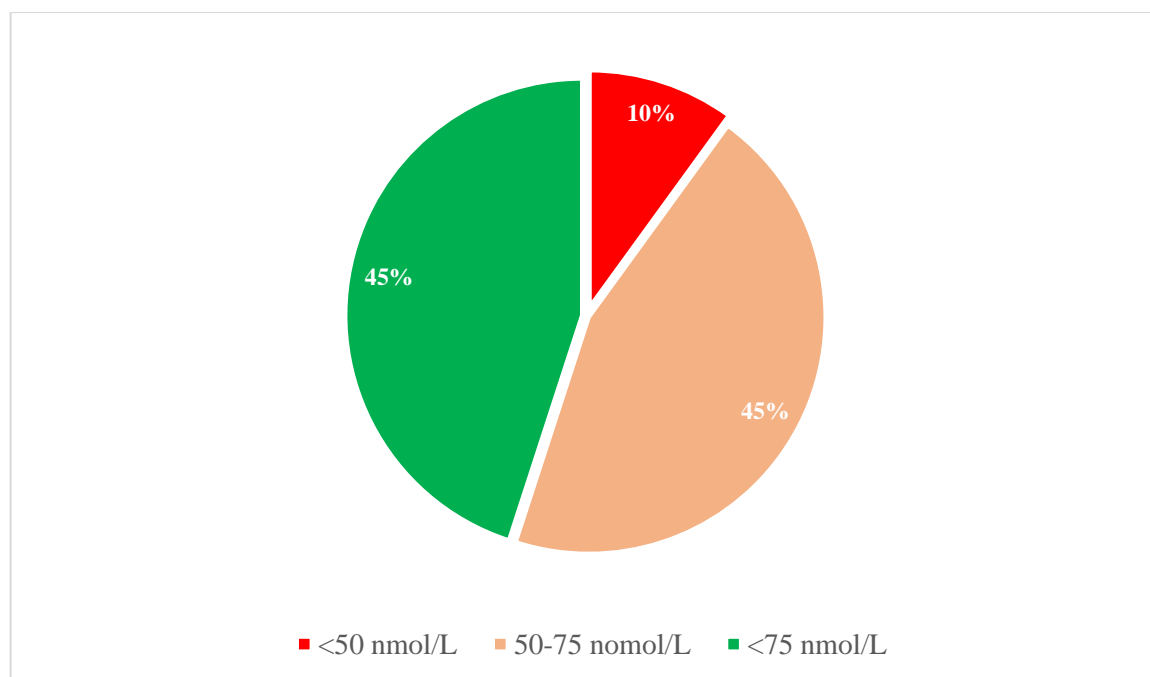
Podatci su prikupljeni u laboratoriju Poliklinike Croatia u Zagrebu, ispitivana je koncentracija metabolita vitamina D, 25(OH)D u krvnom serumu te ako se utvrdi nedostatak uvesti suplementaciju. Uzorci su prikupljeni tijekom lipnja 2022., natašte, prije jutarnjeg treninga. Antropometrijska mjerenja napravljena su u sklopu sistematskog pregleda. Za mjerenje tjelesne mase i visine korištena je baždarena medicinska vaga, a rezultat je na razini preciznosti od 0,5 kg. Visina je mjerena u centimetrima, na razini preciznosti od 1 cm. Tijekom mjerenja ispitanici su nosili laganu odjeću i nisu nosili obuću.

Tablica 4. Deskriptivni statistički parametri antropometrijskih varijabli i koncentracije 25(OH)D (kalcidiola)

Parametri	AS	Min	Max	SD
Dob (godine)	29,15	22	41	6,21
TV(cm)	182,95	170	202	8,2
TM (kg)	84,07	63	135	16,1
25(OH)D (nmol/L)	72,91	47,5	101	11,85

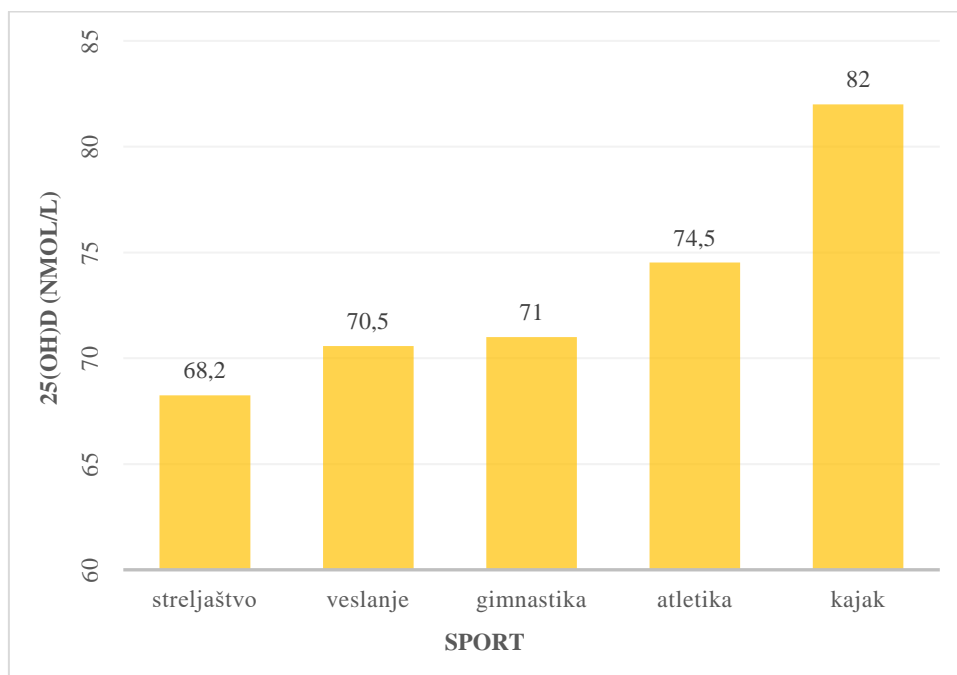
AS-aritmetička sredina; SD-standardna devijacija; Min-minimalna vrijednost; Max-maksimalna vrijednost; SD-standardna devijacija; TV- tjelesna visina; TM- tjelesna masa

Adekvatnu razinu vitamina D imalo je 9 ispitanika (45 %), a 11 (55 %) ispitanika imalo je niske razine vitamina D. Deficijencija vitamina D prikazana je kod dvojice (10 %) ispitanika, a insuficijencija vitamina D je prikazana kod 9 (45 %) ispitanika (slika 2). Prosječna koncentracija vitamina D u ovom istraživanju iznosila je 72,91 nmol/L (SD= 11,85).



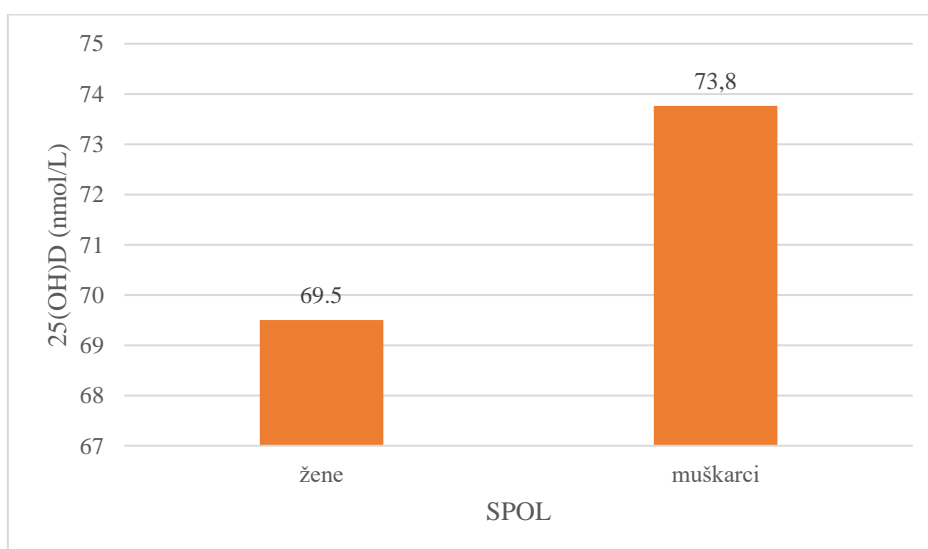
Slika 2. Distribucija vrijednosti 25(OH)D (kalcidiola) svih ispitanika

Kada smo podijelili sportaše u grupe ovisno o tome kojim se sportom bave (slika 3), dobili smo 5 grupa. U prosjeku najveće koncentracije 25(OH)D u serumu imali su kajakaši N=4 (82 nmol/L), zatim atletičari N=3 (74,51 nmol/L), slijedili su gimnastičari N=2 (71 nmol/L), nakon njih veslači N=6 (70, 58 nmol/L) te najniže koncentracije zabilježene su kod streljača N=5 (68,24). ANOVA testom izračunata je P-vrijednost=0,522 i F=0,837 te možemo zaključiti da na ovom malom uzorku ne možemo reći da postoji statistički značajna razlika između aritmetičkih sredina ovih pet skupina.



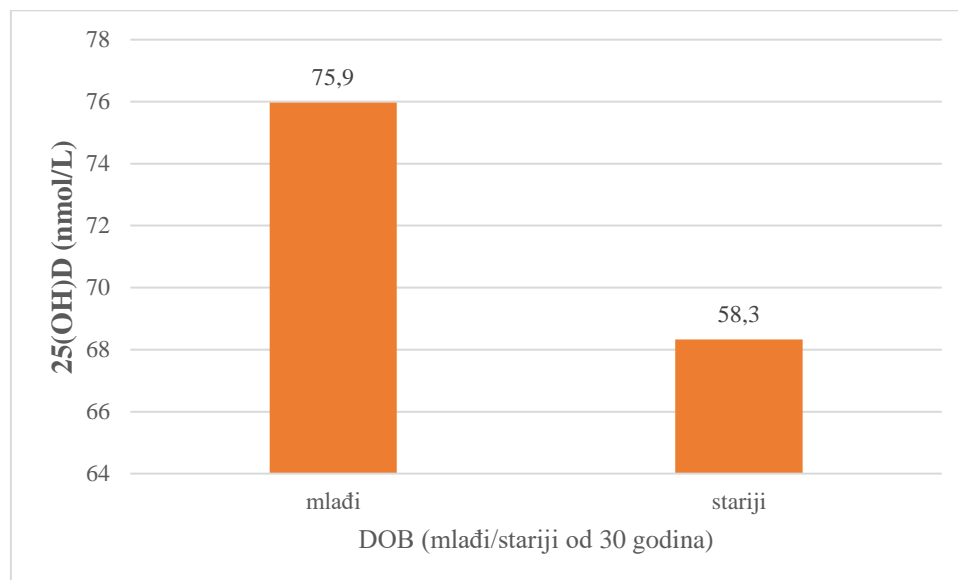
Slika 3. Usporedba aritmetičkih sredina koncentracija 25(OH)D (kalcidiola) kada su ispitanici podijeljeni po sportu kojim se bave

Kada su ispitanici podijeljeni u skupine po spolu (slika 4), muškarci N=16 (73,76 nmol/L) su u prosjeku imali nešto veće koncentracije 25(OH)D od žena N=4 (69,5 nmol/L). T-testom izračunat je P=0,52 stoga ne možemo govoriti o statistički značajnoj razlici kada su ispitanici podijeljeni u grupe na temelju spola, a razina statističke značajnosti postavljena je na P<0,05.



Slika 4. Usporedba aritmetičkih sredina koncentracija 25(OH)D (kalcidiola) kada su ispitanici podijeljeni po spolu

Ispitanike se zatim podijelilo u skupine mlađih (N=12) i starijih (N=8) od 30 godina (slika 5). T-testom utvrđeno je da je P-vrijednost=0,1706 te da ne možemo govoriti o statistički značajnoj razlici između grupa.



Slika 5. Usporedba aritmetičkih sredina koncentracija 25(OH)D (kalcidiola) kada su ispitanici podijeljeni u skupine mlađih i starijih od 30 godina

4.1. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA O NUTRITIVNOM STATUSU VITAMINA D KOD SPORTAŠA U POSLJEDNJE TRI GODINE

U baze podataka upisani su pojmovi: vitamin D, 25(OH)D, athletes, sport, athletic performance, rezultati su objedinjeni, a duplikati izbačeni te je ostalo 750 radova na temu. Zatim se pretraga suzila pregledavanjem radova samo iz kategorija: Sport Sciences i Nutrition Dietetics, a zatim su odabrani samo radovi izdani u posljednje tri godine (2020. – 2022). Preostalih 114 radova dodani su i radovi na mladim hrvatskim nogometašima (Kosor, 2020; Perić i sur., 2020). Pronađeno je 18 radova u kojima se provjeravala koncentracija 25(OH)D u krvi sportaša, uključivali su rezultate 2281 sportaša, razvrstani su po kriteriju da serumska razina vitamina D niža od 50 nmol/L ukazuje na deficijenciju vitamina D, razine između 50 i 75 nmol/L ukazuju na insuficijenciju, a razine između 75 i 150 nmol/L na suficijenciju vitamina D (Vranešić Bender i sur., 2016). Rezultati su prikazani u tablici 5.

Tablica 5. koncentracija 25(OH)D (kalcidiola) u krvi, sportaši su podijeljeni u skupine: deficijentni, insuficijentni i suficijentni (radovi od kraja 2019.-2022.)

Autori	Populacija	Deficijentni (<50 nmol/L)	Insuficijentni (75 i 150 nmol/L)	Suficijentni (75- 150 nmol/L)
Krzywański i sur., 2020	Atletičari, N=149	N=5 3,3 %	N=49 32,9 %	N=95 63,8 %
Wilson-Barnes i sur., 2020	Studenti sportaši, N=49	N/A	N=17 34,6%	N=32 65,3%
Leitch i sur., 2021	Studenti sportaši, N=81	N/A	N=37 45,6 %	N=44 54,4 %
Newbury i sur., 2022	Plivači, N=29	N=3 10,3 %	N=16 55,2 %	N=10 34,5 %
Kim i sur., 2019	Odbojkaši, N=52	N=14 26,9 %	N=24 46,1 %	N=14 26,9 %
Seckin i sur., 2021	Više sportova, N=256	N=46 17 %	N=93 36,3 %	N=117 46,7 %
Most i sur., 2021	Dvoranski sportovi, N=112	N/A	N=34 30,4 %	N=78 69,6 %
Millward i sur., 2020	Studenti sportaši, N=802	N/A	N=122 15,2 %	N=680 84,8 %
Sekel i sur., 2020	Košarkaši, N=20	N/A	N=13 65 %	N=7 35 %
Bauer i sur., 2020	Dvoranski sportovi, N=120	N/A	N=35 29,1 %	N=85 70,9 %
Weber i sur., 2021	Nogometaši, N=272	N/A	N=151 55,5 %	N=121 44,5 %
Kim i sur., 2020	Košarkaši, N=36	N=11 30,5 %	N=15 41,6 %	N=10 27,7 %
Ferrari i sur., 2020	Biciklisti, N=37	N/A	N=23 61,1 %	N=14 38,9 %
Crewther i sur., 2020	Više sportova, N=88	N=5 9,1 %	N=55 62,5 %	N=25 28,4 %

Sariakçali i sur., 2020	Nogometashi, N=36	N=16 44,4 %	N=14 38,8 %	N=6 16,6 %
Michalczyk i sur., 2020	Nogometashi, N=28	N=2 7,3 %	N=12 42,7 %	N=14 50 %
Perić i sur., 2020	Nogometashi, N=62	N=5 8,1 %	N=29 46,8 %	N=28 45,1 %
Kosor, 2020	Nogometashi, N=52	N=4 7,7 %	N=23 44,2 %	N=25 48,8 %

N/A- nije dostupno (engl. *not available*); N-broj ispitanika

Podijelimo li sportaše u: skupina s niskom razinom 25(OH)D-a (deficijencija/insuficijencija vitamina D <75 nmol/L) i skupina s adekvatnom razinom 25(OH)D-a (suficijencija vitamina D >75 nmol/L) dobit ćemo da je u rezultatima istraživanja od kraja 2019. do kolovoza 2022. 35,3 % sportaša imalo neadekvatne koncentracije 25(OH)D u krvi (N=805), dok je 64,7 % (N=1476) sportaša imalo adekvatne.

Usporedimo li rezultate istraživanja na mladim hrvatskim nogometasima (N=114) 7,8 % ispitanika imalo je deficijenciju vitamina D, 45,6 % ispitanika imalo je insuficijentnu koncentraciju 25(OH)D, a 46,5 % je imalo adekvatnu razinu 25(OH)D-a. Usporedimo li te rezultate s rezultatima ovog istraživanja na vrhunskim seniorskim hrvatskim sportasima može se zaključiti kako rezultati deficijencije vitamina D kod dvojice (10 %) ispitanika, insuficijencije vitamina D kod 9 (45 %) ispitanika te adekvatna razina vitamina D kod 9 ispitanika (45 %) poprilično se podudara s dosadašnjim rezultatima na mlađim nogometasima.

4.2. USPOREDBA PRETHODNO UTVRĐENIH REZULTATA S EKSPERIMENTALNIM REZULTATIMA NA HRVATSKIM SPORTAŠIMA

Prije točno 100 godina Harriette Chick i njeni suradnici otkrili su kako rahitis kod djece može biti spriječen ako se u prehranu uvede suplementacija uljem jetre bakalara (Buttriss i Lanham-New, 2022). Nakon svih ovih godina vitamin D ne prestaje biti zanimljiva tema niti u posljednjem desetljeću. Razlog tome je što uloga vitamina D u tijelu seže puno dalje od regulacije kalcija i fosfora u krvotoku te mineralizacije kostiju. Dokazan je učinak na funkciju mišića, imunosti sustav te liječenje psorijaze, a u novije vrijeme dodatno je istraživana i njeno povezanost sa simptomima COVID-a 19 (Lanham-New i sur., 2022). Iako se već cijelo stoljeće zna da su određene skupine (djeca, trudnice, starije osobe) posebno ranjive na rahitis, niske koncentracije vitamina D su i dalje sveprisutne diljem Europe (Uday i Högler, 2018). Spiro i Buttriss (2014) navode da unatoč različitim javnozdravstvenim pristupima nizak status vitamina D sveprisutan je u čitavoj Europi neovisno o zemljopisnoj širini.

U preglednom članku Schoora i Lipsa (2011) zabilježeno je da je koncentracija 25(OH)D-a u serumu veća u Sjevernoj Europi nego u Južnoj Europi, što ukazuje na manju ulogu kožne sinteze vitamina D u razvijenim zemljama. Prehrana bogata masnom ribom i unos proizvoda obogaćenih vitaminom D najviše pridonose prehranbenom unosu vitamina D u Finskoj i Švedskoj, kako je izvijestila i Europska agencija za sigurnost hrane (EFSA) (Agostoni i sur. prema Kosor, 2020). Kako je Hrvatska smještena između 42° i 46° sjeverne zemljopisne širine očekuju se sezonske varijacije u koncentraciji vitamina D. Vrlo se malo vitamina D u koži sintetizira od 10. do 3. mjeseca bez obzira na izlaganje kože suncu (Laktasić-Zerjavić i sur., 2014). Usporedimo li količine ribe godišnje konzumirane po glavi stanovnika u Hrvatskoj (18,7 kg) s Norveškom (54,4 kg (Europska komisija, 2017)), nimalo ne čude rezultati Barić i sur. 83,8 % da je ispitanika u Hrvatskoj imalo razinu vitamina D <75 nmol/L, a čak je 46,1 % ispitanika imalo razinu vitamina D <50 nmol/L. Deficijencija vitamina D otkrivena je i kod 58 % djece, a insuficijencija u 29 % djece (Karin i sur., 2018) što ukazuje na visoku prevalenciju nedostatka vitamina D među čitavim stanovništvom Hrvatske.

U ovoj, ali i dosadašnje 2 studije provedene na hrvatskim sportašima rezultati prate trend neadekvatnog statusa vitamina D. Ukupno sportaša s deficijentnim statusom bilo je 8,2 %, insuficijentnih je bilo 45,5 %, a suficijentnih 46,2 %. Usporedimo li ove rezultate s onima vrhunskih španjolskih sportaša (Valtueña i sur., 2021) gdje nije bilo deficijentnih, 25 % ih je bilo insuficijentno, a 75 % suficijentno očito ima još puno mjesta za napredak. Treba također

uzeti u obzir da je u ovoj studiji sudjelovao vrlo mali broj sportaša (N=20) te da je više od 58 % Španjolaca uzimalo vitamin D u obliku dodatka prehrani, stoga ovi rezultati ne čude. Hrvatski sportaši imaju sličnije rezultate Poljskim nogometašima (Skalska i sur., 2019), a čak su ruski nogometaši u zimskim mjesecima imali manji postotak neadekvatnog statusa (Bezuglov i sur., 2019). Može se zaključiti da će na status vitamina D kod vrhunskih sportaša najviše utjecati doba godine, boja kože, sama priroda sporta (vanjski/dvoranski) te suplementacija (Valtueña i sur., 2021). U ovom istraživanju svi ispitanici bili su svijetle puti, a rezultati su prikupljeni tijekom lipnja, to znači da se mogu očekivati još niže razine tijekom zimskih i proljetnih mjeseci ne uvede li se suplementacija i adekvatno izlaganje kože suncu. Pomalo iznenađujuće, više autora (Zhang i Cao, 2022; Valtueña i sur., 2021; Farrokhyar i sur., 2017) primijetilo je pozitivnu vezu suplementacije (od 1000 do 2000 IJ) i treninga na otvorenom u dva smjera; treniranje na otvorenom imalo je pozitivan učinak na status vitamina D samo kod pojedinaca koji su suplementirali vitamin D, a suplementacija je imala pozitivan učinak samo kod sportaša koji su imali dovoljnu izloženost suncu. Iako Harju i sur. (2022) u svojoj meta-analizi spominju spol i dob kao rizične faktore za insuficijenciju vitamina D, u ovoj studiji to nije statistički potvrđeno (slika 4 i slika 5), naime u istraživanju su sudjelovale samo 4 osobe ženskog spola te 16 muškog.

Veći broj istraživanja potvrdio je da značajno povećanje koncentracije 25(OH)D podiže slobodne i ukupne koncentracije testosterona te niže razine kortizola. Nimptschs i sur. (2012) objašnjavaju porast razina testosterona činjenicom da receptori za vitamin D i enzimi koji metaboliziraju vitamin D oboje prisutni u ljudskim Leydigovim stanicama koje proizvode testosteron. Domingues-Faria i sur. (2017) navode kako je deficit vitamina D povezan sa smanjenom mišićnom masom i snagom, kako vitamin D utječe na metabolizam skeletnim mišića, tj. anabolizam te modulira njihovu proliferaciju i diferencijaciju. Te učinke na metabolizam mišića najviše se povezuje s prisutnosti VDR-a u ovim tkivima. Grant i sur. (2020) navode kako osim bolje sportske izvedbe, sportaši bi mogli imati koristi od suficijentne koncentracije 25(OH)D (>100nmol/L) i u obliku boljeg općeg zdravlja te smanjenog rizika od zaraze COVID-om 19. Navode također kako bi se do tih razina moglo doći suplementacijom D₃ s vjerojatnih 4 000 – 10 000 IJ/dan. Mnogi čimbenici utječu na odnos između doze vitamina D i koncentracije 25(OH)D u serumu, uključujući tjelesnu masu, genetiku povezanu s apsorpcijom vitamina D iz gastrointestinalnog trakta, pretvorbu vitamina D u 25(OH)D, i početne koncentracije 25(OH)D u tijelu i hrani (Grant i sur., 2020). Djelujući na snagu, brzinu i oporavak mišića nakon treninga, vitamin D ima utjecaj i na energetske kapacitete sportaša. Na

molekularnoj razini, vitamin D kontrolira ekspresiju više proteina koji su uključeni u signalizaciju kalcija i metaboličke procese ovisne o fosfatu, uključujući ATP i sintezu kreatin fosfata u mišićnim stanicama (Schubert i sur., 2010; Berchtold i sur., 2000). Tako vitamin D regulira kontrakciju i opuštanje, održava strukturni integritet, regulira energetske metabolizam i utječe na razvoj i diferencijaciju mišića. On djeluje i izravno na mišićne stanice putem regulacije ekspresije kontraktilnih proteina i miogenih transkripcijskih faktora rasta (Garcia i sur; 2013; Endo i sur., 2003 prema Kosor, 2020), čime utječe na mišićni razvoj, plastičnost i čvrstoću, kao i regeneraciju i neovaskularizaciju nakon ozljede.

U sustavnom pregledu 16 radova koji su proučavali povezanost statusa vitamina D, Jakobsen i sur. (2021) navode da su koncentracije niže od 75 nmol/L 25(OH)D povezane s većim rizikom od stres fraktura, ali se ne mogu povezati s ozljedama mišića.

Razlozi oprečnih rezultata studija na sportsku izvedbu kod vrhunskih sportaša mogli bi se pripisati tome da vitamin D ima potpunu ulogu. U budućnosti je moguće očekivati dodatno povećanje preporuka na 100 nmol/L za sportaše jer su uočeni manji rizici od ozljeda te je vjerojatan veći broj istraživanja koji potvrđuju njegov pozitivan učinak na sportsku izvedbu. Dodatan razlog nekonstantnih rezultata je činjenica da bolja utreniranost ipak nadilazi negativne učinke neadekvatne razine vitamina D. Shodno tome najveću će korist od povećanja razine 25(OH)D imati sportaši koji imaju nižu razinu treniranosti te sportaši koji u startu imaju niže razine 25(OH)D.

Prilikom procjene kvalitete prehrane nutricionistu bi najbolji alat mogao biti upitnik o učestalosti unosa hrane i pića (engl. *Food Frequency Questionnaire, FFQ*) zbog malog broja prehrambenih izvora bogatih vitaminom D (Halliday i sur., 2011). Nedostatak vitamina D može se fizički manifestirati kao neobjašnjiva slabost i bol u mišićima, bol u zglobovima, neočekivana bol na pritisak prsne kosti (sternuma) i goljenične kosti (tibije) te bol prilikom savijanja nogu. Kod previsoke razine vitamina D u krvi može doći do hiperkalcemije, umora, zatvora, mučnina, povraćanja, boli u leđima, glavobolja i zaboravnosti (Larson-Meyer i sur., 2018).

Među posebno rizičnom skupinom za deficijenciju statusa vitamina D su svakako vegetarijanci. Hadži-Boškov (2015) navodi da vegetarijanci prehranom unesu oko 16 puta manje vitamina D od mesojeda. Glavni izvor vitamina D kod vegetarijanaca su mliječni proizvodi, no budući da prehranom zadovoljavaju tek 2 % preporučenog dnevnog unosa vitamina D, može se zaključiti kako je vegetarijancima vrlo vjerojatno potreban dodatni izvor ovog vitamina u obliku dodataka prehrani, a alternativa je dovoljno izlaganje kože sunčevoj svjetlosti.

Suplementacija vitamina D₃ pokazala se značajno učinkovitijom od suplementacije vitaminom D₂, ali nema značajne razlike u razinama kalcija, fosfora, alkalne fosfataze i PTH (Balachandar i sur., 2021). Zato je vitamin D koji se najčešće koristi u dodacima vitamin D₃, ali sirovina iz koje se dobiva, lanolin u ovčjoj vuni, čini ovaj oblik nepopularnim među vegetarijancima i neprihvatljivim za vegane stoga bi im pogodniji izvor vitamina D₂ (ergokalciferola) bili dodaci prehrani kojima su sirovine biljke, gljive i kvasci (Buttriss & Lanham-New, 2020).

Rezultati ovog istraživanja u kojem se provjeravala razina serumske koncentracije 25(OH)D kod vrhunskih sportaša samo su potvrdili već postojeće rezultate o prevalenciji nedostatne koncentracije vitamina D diljem svijeta. U sustavnom pregledu literature provedene na sportašima uočen je neadekvatan status vitamina D kod 35,3 %. Zbog ovako visoke učestalosti nedostatka vitamina D preporučuje se praćenje vitamina D tijekom cijele godine, posebice kod sportaša koji se bave dvoranskim sportovima ili već imaju utvrđen nedostatak vitamina D. Nedostatak se može popraviti sigurnim i učestalim izlaganjem suncu uz suplementaciju, a može doći do poboljšanja sportske izvedbe te smanjenog rizika od ozljeda.

Potrebno je napomenuti da su pozitivne strane ovog istraživanja ponajviše uzorak ispitanika (svi su višestruki osvajači medalja na velikim natjecanjima), činjenica da je krv vađena svima u isto doba godine i u istom laboratoriju. Veliki nedostatak ovog istraživanja je mali broj ispitanika s malom raspodjelom, činjenica da se radi o presječnom istraživanju te ne možemo govoriti o uzrocima i posljedicama. Također mjerenje je provedeno samo u lipnju te ne možemo govoriti o statusu vitamina D kod sportaša tijekom cijele godine. Potrebna su dodatna mjerenja koja će uključivati veću skupinu ispitanika s boljim opisom te većom raspodjelom samih sportaša.

5. ZAKLJUČCI

1. Istraživanje ukazuje na nedostatne razine vitamina D u vrhunskih hrvatskih sportaša što je u skladu s većinom drugih istraživanja.
2. Nije bilo statistički značajne razlike između sportaša kada su bili podijeljeni u skupine po spolu, dobi i vrsti sporta kojom se bave.
3. Pregledom literature u posljednje 3 godine (od 2020. do 2022.) može se zaključiti kako je više od trećine sportaša imalo neadekvatne razine vitamina D.
4. Vitamin D može potencijalno pozitivno utjecati na velik broj faktora vezanih za sportsku izvedbu, stoga se savjetuje kontinuirano praćenje statusa vitamina D.
5. Potrebna su dodatna istraživanja na većim skupinama sportaša kako bi se mogla utvrditi povezanost statusa vitamina D i sportske izvedbe.

6. LITERATURA

Abboud M, Puglisi DA, Davies BN (2013) Evidence for a specific uptake and retention mechanism for 25-hydroxyvitamin D (25OHD) in skeletal muscle cells. *Endocrinol* **154**, 3022-3030. <https://doi.org/10.1210/en.2012-2245>

Abboud M, Rybchyn MS, Liu J (2017) The effect of parathyroid hormone on the uptake and retention of 25-hydroxyvitamin D in skeletal muscle cells. *J Steroid Biochem Mol Biol* **173**, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2017.01.001>

Agergaard J, Trøstrup J, Uth J, Iversen JV, Boesen A, Andersen JL i sur. (2015) Does vitamin-D intake during resistance training improve the skeletal muscle hypertrophic and strength response in young and elderly men? - a randomized controlled trial. *Nutr Metab* **12**, 32. <https://doi.org/10.1186/s12986-015-0029-y>

Agostoni C, Bresson JL, Fairweather Tait S, Flynn A, Golly I, Korhonen H i sur (2012) Scientific opinion on the tolerable upper intake level of eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA): EFSA panel on dietetic products, nutrition and allergies (NDA). *EFSA J* **10**, 2815.

Ameri P, Giusti A, Boschetti M, Murialdo G, Minuto F, Ferone D (2013) Interactions between vitamin D and IGF-I: from physiology to clinical practice. *Clin Endocrinol (Oxf)* **79**, 457-63. <https://doi.org/10.1111/cen.12268>

Anderson PH, May BK, Morris HA (2003) Vitamin D metabolism: new concepts and clinical implications. *Clin Biochem Rev* **24**, 13-26.

Ardestani A, Parker B, Mathur S, Clarkson P, Pescatello LS, Hoffman HJ i sur. (2011) Relation of vitamin D level to maximal oxygen uptake in adults. *Am J Cardiol* **107**, 1246-9. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2010.12.022>

Balachandar R, Pullakhandam R, Kulkarni B, Sachdev HS (2021) Relative Efficacy of Vitamin D2 and Vitamin D3 in Improving Vitamin D Status: Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutr* **13**, 3328. <https://doi.org/10.3390/nu13103328>.

Barbáchano A, Fernández-Barral A, Ferrer-Mayorga G, Costales-Carrera A, Larriba M, Muñoz A (2017) The endocrine vitamin D system in the gut. *Mol Cell Endocrinol* **453**, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2016.11.028>

Barić IC, Keser I, Bituh M, Rumbak I, Samarin IR, Beljan K i sur. (2016) Vitamin D status and prevalence of inadequacy in Croatian population. 4 međunarodni kongres nutricionista.

Barker T, Henriksen VT, Martins TB, Hill HR, Kjeldsberg CR, Schneider ED i sur. (2013) Higher serum 25-hydroxyvitamin D concentrations associate with a faster recovery of skeletal muscle strength after muscular injury. *Nutr* **5**, 1253–75. <https://doi.org/10.3390/nu5041253>

Barker T, Schneider ED, Dixon BM, Henriksen VT, Weaver LK (2013) Supplemental vitamin D enhances the recovery in peak isometric force shortly after intense exercise. *Nutr Metab* **10**, 69. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-10-69>

Basit S (2013) Vitamin D in health and disease: a literature review. *Br J Biomed Sci* **70**,161-72. <https://doi.org/10.1080/09674845.2013.11669951>

Bauer P, Kraushaar L, Dörr O, Bauer T, Nef H, Hamm CW, Most A (2020) Association of 25-hydroxy vitamin D level with the blood pressure response to a maximum exercise test among professional indoor athletes. *Eur J Appl Physiol* **120**, 1931-1941. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04421-6>

Bello HJ, Caballero-García A, Pérez-Valdecantos D, Roche E, Noriega DC, Córdova-Martínez A (2021) Effects of Vitamin D in Post-Exercise Muscle Recovery. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutr* **13**, 4013. <https://doi.org/10.3390/nu13114013>

Berchtold MW, Brinkmeier H, Müntener M (2000) Calcium ion in skeletal muscle: its crucial role for muscle function, plasticity, and disease. *Physiol Rev* **80**, 1215-65. <https://doi.org/10.1152/physrev.2000.80.3.1215>

Berry DJ, Hesketh K, Power C (2011) Vitamin D status has a linear association with seasonal infections and lung function in British adults. *Brit J of Nutr* **106**, 1433–40. <https://doi.org/10.1017/S0007114511001991>

Bezuglov E, Tikhonova A, Zueva A, Khaitin V, Waśkiewicz Z, Gerasimuk D i sur. (2019) Prevalence and treatment of vitamin D deficiency in young male Russian soccer players in winter. *Nutr* **11**, 2405. <https://doi.org/10.3390/nu11102405>

Bikle DD (2014) Vitamin D metabolism, mechanism of action, and clinical applications. *Chem Biol* **21**, 319-29.

Bischoff-Ferrari HA, Borchers M, Gudat F, Dürmüller U, Stähelin HB, Dick W (2004) Vitamin D receptor expression in human muscle tissue decreases with age. *J Bone Miner Res* **19**, 265-9. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2004.19.2.265>

Black LJ, Anderson D, Clarke MW, Ponsonby A-L, Lucas RM (2015) Ausimmune Investigator Group. Analytical Bias in the Measurement of Serum 25-Hydroxyvitamin D Concentrations Impairs Assessment of Vitamin D Status in Clinical and Research Settings. *PLoS ONE* **10**, e0135478. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020412>

Bouillon R, Carmeliet G, Verlinden L, van Etten E, Verstuyf A i sur. (2008) Vitamin D and human health: Lessons from vitamin D receptor null mice. *Endocr Rev* **29**, 726–776. <https://doi.org/10.1210/er.2008-0004>

Buttriss JL, Lanham-New SA (2020) Is a vitamin D fortification strategy needed? *Nutr Bull* **45**, 115–122. <https://doi.org/10.1111/nbu.12430>

Buttriss JL, Lanham-New SA (2022) Vitamin D: One hundred years on. *Nutr Bull* **47**, 282–287. <https://doi.org/10.1111/nbu.12575>

Cashman KD (2002) Calcium intake, calcium bioavailability and bone health. *Br J Nutr* **87**, 169–77. <https://doi.org/10.1079/BJNBJN/2002534>

Ceglia L, Harris SS (2013) Vitamin D and Its Role in Skeletal Muscle. *Calcif Tissue Int* **92**, 151–162. <https://doi.org/10.1007/s00223-012-9645-y>

Ceglia, L (2008) Vitamin D and Skeletal Muscle Tissue and Function. *Mol Asp Med* **29**, 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2008.07.002>

Chan W, Brown J, Lee SM, Buss DH (1995) Meat, Poultry and Game. Fifth Supplement to the Fifth Edition of McCance and Widdowson's the Composition of Foods, Royal Society of Chemistry/Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Cambridge/London. Engleska, London.

Chen C, Zhai H, Cheng J, Weng P, Chen Y, Li Q i sur. (2019) Causal Link Between Vitamin D and Total Testosterone in Men: A Mendelian Randomization Analysis. *J Clin Endocrinol Metab* **104**, 3148–3156. <https://doi.org/10.1210/jc.2018-01874>

Cheng S, Tylavsky F, Kroger H, Karkkainen M, Lyytikainen A, Koistinen A i sur. (2003) Association of low 25-hydroxyvitamin D concentrations with elevated parathyroid hormone concentrations and lowcortical bone density in early pubertal and prepubertal Finnish girls. *Am J Clin Nutr* **78**, 485–92. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.485>

Close GL, Leckey J, Patterson M, Bradley W, Owens DJ, Fraser WD i sur. (2013) The effects of vitamin D(3) supplementation on serum total 25[OH]D concentration and physical performance: a randomised dose-response study. *Br J Sports Med* **47**, 692–6. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091735>

Close GL, Russell J, Cobley JN, Owens DJ, Wilson G, Gregson W i sur. (2013) Assessment of vitamin D concentration in non-supplemented professional athletes and healthy adults during the winter months in the UK: implications for skeletal muscle function. *J Sports Sci* **31**, 344-53. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.733822>

Constantini NW, Arieli R, Chodick G, Dubnov-Raz G (2010) High Prevalence of Vitamin D Insufficiency in Athletes and Dancers. *Clin J Sport Med* **20**, 368–371. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181f207f2>

Crewther B, Cook C, Fitzgerald J, Starczewski M, Gorski M, Orysiak J (2020) Vitamin D and Cortisol as Moderators of the Relationship Between Testosterone and Exercise Performance in Adolescent Male Athletes. *Pediatr Exerc Sci* **32**, 204-209. <https://doi.org/10.1123/pes.2019-0229>

Dahlquist DT, Dieter BP, Koehle MS (2015) Plausible ergogenic effects of vitamin D on athletic performance and recovery. *J Int Soc Sports Nutr* **12**, 33. <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0093-8>

Domingues-Faria C, Boirie Y, Walrand S (2017) Vitamin D and muscle trophicity. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* **20**:169-174. doi: 10.1097/MCO.0000000000000358.

Dubnov-Raz G, Livne N, Raz R, Cohen AH, Constantini NW (2015) Vitamin D Supplementation and Physical Performance in Adolescent Swimmers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* **25**, 317-25. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0180>

EFSA Panel on Dietetic Products (2016) Dietary reference values for vitamin D, Nutrition and Allergies (NDA). *EFSA J* **14**, 4547. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4547>

Endo I, Inoue D, Mitsui T, Umaki Y, Akaike M, Yoshizawa T i sur. (2003) Deletion of vitamin D receptor gene in mice results in abnormal skeletal muscle development with deregulated expression of myoregulatory transcription factors. *Endocrinol* **144**, 5138-44. <https://doi.org/10.1210/en.2003-0502>

European comission. Consumption of fisheries and aquaculture products 2017. https://ec.europa.eu/fisheries/6-consumption_en. Pristupljeno 28.kolovoza 2022.

Fairbairn KA, Ceelen IJM, Skea CM, Cameron CM, Perry TL (2018) Vitamin D3 supplementation does not improve sprint performance in professional rugby players: A randomized, placebo-controlled, double-blind intervention study. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* **28**, 1–9.

Farrokhyar F, Sivakumar G, Savage K, Koziarz A, Jamshidi S, Ayeni OR i sur. (2017) Effects of Vitamin D Supplementation on Serum 25-Hydroxyvitamin D Concentrations and Physical Performance in Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Sports Med* **47**, 2323-2339. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0749-4>

Ferrari P, Meneghello M, Zamboni F, Schenk K, Ferrari M (2020) Annual variations of vitamin D levels and exercise capacity in Italian amateur cyclists. *Med dello Sport* **73**, 21-31. <https://doi.org/10.23736/S0025-7826.20.03653-4>

Fitzgerald JS, Peterson BJ, Warpeha JM, Wilson PB, Rhodes GS, Ingraham SJ. Vitamin D status and V[combining dot above]O₂peak during a skate treadmill graded exercise test in competitive ice hockey players. *J Strength Cond Res* **28**, 3200-5. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000523>

Fleet JC, Shapses SA (2020) Chapter 6 - Vitamin D, Present Knowledge in Nutrition, 11. izdanje, Academic Press, str. 93-114. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-66162-1.00006-8>

Food and Nutrition Board, Institute of Medicine (2011) Dietary Reference Intakes for calcium and vitamin D, The National Academies Press, Washington, D. C., str. 1104-1105.

Forney LA, Earnest CP, Henagan TM, Johnson LE, Castleberry TJ, Stewart LK (2014) Vitamin D status, body composition, and fitness measures in college-aged students. *J Strength Cond Res* **28**, 814-24. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a35ed0>

Garcia LA, Ferrini MG, Norris KC, Artaza JN (2013) 1,25(OH)₂vitamin D₃ enhances myogenic differentiation by modulating the expression of key angiogenic growth factors and angiogenic inhibitors in C₂C₁₂ skeletal muscle cells. *J Steroid Biochem Mol Biol* **133**, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2012.09.004>

Girgis CM, Brennan-Speranza TC (2021) Vitamin D and Skeletal Muscle: Current Concepts From Preclinical Studies. *JBMR Plus* **5**, 10575. <https://doi.org/10.1002/jbm4.10575>

Grant WB, Lahore H, Rockwell MS (2020) The Benefits of Vitamin D Supplementation for Athletes: Better Performance and Reduced Risk of COVID-19. *Nutr* **12**, 3741. <https://doi.org/10.3390/nu12123741>

Gregory SM, Parker BA, Capizzi JA, Grimaldi AS, Clarkson PM, Moeckel-Cole i sur. (2013) Changes in vitamin D are not associated with changes in cardiorespiratory fitness. *Clin Med Res* **2**, 68-72.

Gressner OA, Lahme B, Gressner AM (2008) Gc-globulin (vitamin D binding protein) is synthesized and secreted by hepatocytes and internalized by hepatic stellate cells through Ca(2+)-dependent interaction with the megalin/gp330 receptor. *Clin Chim Acta* **390**, 28-37. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2007.12.011>

Gröber U, Kisters K (2012) Influence of drugs on vitamin D and calcium metabolism. *Dermatoendocrinol* **4**, 158-66. <https://doi.org/10.4161/derm.20731>

Haddad JG, Fraser DR, Lawson DE (1981) Vitamin D plasma binding protein. Turnover and fate in the rabbit. *J Clin Invest* **67**, 1550-1560. <https://doi.org/10.1172/jci110186>

Hadži Boškov J (2015) Karninutrijenti i antinutrijenti: razlike u unosu vegetarijanskom i ne-vegetarijanskom prehranom (diplomski rad), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Halliday TM, Peterson NJ, Thomas JJ, Kleppinger K, Hollis BW, Larson-Meyer, DE (2011) Vitamin D status relative to diet, lifestyle, injury, and illness in college athletes. *Med Sci Sports Exerc* **43**, 335–343. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181eb9d4d>

Hamilton B (2010) Vitamin D and human skeletal muscle. *Scand J Med Sci Sports* **20**, 182-90. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01016.x>

Hamilton B, Grantham J, Racinais S, Chalabi H (2010) Vitamin D deficiency is endemic in Middle Eastern sportsmen. *Public Health Nutr* **13**, 1528–1534. <https://doi.org/10.1017/S136898000999320X>

Hamilton B, Whiteley R, Farooq A (2014) Vitamin D concentration in 342 professional football players and association with lower limb isokinetic function. *J Sci Med Sport* **17**, 139–43. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.03.006>

Harel Z, Cromer B, DiVasta AD, Gordon CM, Pitts S (2013) Recommended vitamin D intake and management of low vitamin D status in adolescents: a position statement of the society for adolescent health and medicine. *J Adolesc Health* **52**, 801. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2013.03.022>

Harju T, Gray B, Mavroedi A, Farooq A, Reilly JJ (2022) Prevalence and novel risk factors for vitamin D insufficiency in elite athletes: systematic review and meta-analysis. *Eur J Nutr*. doi: 10.1007/s00394-022-02967-z

He CS, Fraser WD, Tang J (2015) The effect of 14 weeks of vitamin D 3 supplementation on antimicrobial peptides and proteins in athletes. *J Sports Sci* **34**, 67–74. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015>

Heaney RP, Armas LAG, French C (2013) All-source basal vitamin D inputs are greater than previously thought and cutaneous inputs are smaller. *J Nutr* **143**, 571-575. <https://doi.org/10.3945/jn.112.168641>

Heaney RP, Garland C, Baggerly C, French, C, Gorham E (2015) Letter to Veugelers, P.J. and Ekwaru, J.P., A statistical error in the estimation of the Recommended Dietary Allowance for vitamin D. *Nutr* **7**, 1688-1690. <https://doi.org/10.3390/nu7031688>

Hennigar SR, McClung JP, Pasiakos SM (2017) Nutritional interventions and the IL-6 response to exercise. *FASEB J* **31**, 3719-3728. <https://doi.org/10.1096/fj.201700080R>

Hii CS, Ferrante A (2016) The Non-Genomic Actions of Vitamin D. *Nutr* **8**, 135. <https://doi.org/10.3390/nu8030135>

Holick MF (2006) Resurrection of vitamin D deficiency and rickets. *J Clin Invest* **116**, 2062–72.

Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari HA, Gordon CM, Hanley DA, Heaney RP i sur. (2011) Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab* **96**, 1911-30. <https://doi.org/10.1210/jc.2011-0385>

Hong J, Hatchell KE, Bradfield JP, Bjornnes A, Chesi A, Lai CQ i sur. (2018) Transethnic evaluation identifies low-frequency loci associated with 25-hydroxyvitamin D concentrations. *J Clin Endocrinol Metab* **103**, 1380-1392.

Institute of Medicine (2011) Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D. The National Academies Press: Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/13050>

Jakobsen M, Nygaard R, Hojbjerg J, Larsen J (2021) The association between vitamin D status and overuse sport injuries: A systematic review and meta-analysis. *Trans Sports Med* **4**. <https://doi.org/10.1002/tsm2.269>

Jastrzebski, Z (2016) Effect of vitamin D supplementation on the level of physical fitness and blood parameters of rowers during the 8-week high intensity training. *Facicula Educ Fiz Sport* **2**, 57–67. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001337>

Jastrzebska M, Kaczmarczyk M, Michalczyk M, Radzimiński Ł, Stępień P, Jastrzebska J i sur. (2018) Can Supplementation of Vitamin D Improve Aerobic Capacity in Well Trained Youth Soccer Players? *J Hum Kinet* **61**, 63-72. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0033>

- Jiang X, O'Reilly PF, Aschard H, Hsu YH, Richards JB, Dupuis J i sur. (2018) Genome-wide association study in 79,366 European-ancestry individuals informs the genetic architecture of 25-hydroxyvitamin D levels. *Nat Commun* **9**, 260. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02662-2>
- Karin Z, Gilic B, Supe Domic D, Sarac Z, Ercegovic K, Zenic N i sur. (2018) Vitamin D status and analysis of specific correlates in preschool children: a cross-sectional study in Southern Croatia. *Int J Environ Res Public Health* **15**, 2503. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112503>
- Keane JT, Elangovan H, Stokes RA, Gunton JE (2018) Vitamin D and the Liver-Correlation or Cause? *Nutr* **10**, 496. <https://doi.org/10.3390/nu10040496>
- Kim DK, Park G, Kuo LT, Park WH (2019) The Relationship between Vitamin D Status and Rotator Cuff Muscle Strength in Professional Volleyball Athletes. *Nutr* **11**, 2768. <https://doi.org/10.3390/nu11112768>
- Kim DK, Park G, Kuo LT, Park WH (2020) Association of Vitamin D Status with Lower Limb Muscle Strength in Professional Basketball Players: A Cross-Sectional Study. *Nutr* **12**, 2715. <https://doi.org/10.3390/nu12092715>
- Kosor, J (2020) Vitamin D i kondicijski kapaciteti mladih sportaša (diplomski rad), Medicinski fakultet, Sveučilište u Splitu, Split.
- Koundourakis NE, Androulakis NE, Malliaraki N, Margioris AN (2014) Vitamin D and exercise performance in professional soccer players. *PLoS One* **9**, e101659. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101659>
- Kraemer W, Ratamess N (2005) Hormonal Responses and Adaptations to Resistance Exercise and Training. *Sports med* **35**, 339-61. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00004>
- Krzywański J, Pokrywka A, Młyńczak M, Mikulski T (2020) Is vitamin D status reflected by testosterone concentration in elite athletes? *Biol Sport* **37**, 229-237. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2020.95633>
- Laktašić-Žerjavić N (2014) Uloga vitamina D i kalcija u liječenju osteoporoze. *Reumatiz* **61**: 80-88.
- Laktašić-Žerjavić N, Koršić M, Crnčević-Orlić Ž, Anić B (2011) Vitamin D: vitamin prošlosti, hormon budućnosti. *Liječ Vjesn* **133**, 194–204

- Lanham-New SA, Buttriss JL, Gibson-Moore H, Staines KA, Webb AR, Cashman KD i sur. (2022) UK nutrition research partnership ‘hot topic’ workshop: vitamin D—A multidisciplinary approach to (1) elucidate its role in human health and (2) develop strategies to improve vitamin D status in the UK population. *Nutr Bull* **47**, 246–260. <https://doi.org/10.1111/nbu.12557>
- Larson-Meyer DE, Woolf K, Burke L (2018) Assessment of Nutrient Status in Athletes and the Need for Supplementation. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* **28**, 139-158. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0338>
- Lehtonen-Veromaa MK, Mottonen TT, Nuotio IO, Irjala KM, Leino AE, Viikari JS (2002) Vitamin D and attainment of peak bone mass among peripubertal Finnish girls: a 3-y prospective study. *Am J Clin Nutr* **76**, 1446-53. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.6.1446>
- Leitch A, Wilson PB, Ufholz KE, Roemmich JN, Orysiak J, Walch TJ.1 i sur. (2021) Vitamin D Awareness and Intake in Collegiate Athletes. *J Strength Condi* **35**, 2742-2748. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003240>
- Lerchbaum E, Pilz S, Trummer C, Schwetz V, Pachernegg O, Heijboer AC (2017) Vitamin D and Testosterone in Healthy Men: A Randomized Controlled Trial. *J Clin Endocrinol Metab* **102**, 4292-4302. <https://doi.org/10.1210/jc.2017-01428>
- Lerchbaum E, Trummer C, Theiler-Schwetz V, Kollmann M, Wölfler M, Heijboer AC i sur. (2019) Effects of vitamin D supplementation on androgens in men with low testosterone levels: a randomized controlled trial. *Eur J Nutr* **58**, 3135-3146. <https://doi.org/10.1007/s00394-018-1858-z>
- Liao L, Chen X, Wang S, Parlow AF, Xu J (2008) Steroid receptor coactivator 3 maintains circulating insulin-like growth factor I (IGF-I) by controlling IGF-binding protein 3 expression. *Mol Cell Biol* **28**, 2460-9. <https://doi.org/10.1128/MCB.01163-07>
- Lieben L, Carmeliet G (2013) The delicate balance between vitamin D, calcium and bone homeostasis: lessons learned from intestinal and osteocyte specific VDR null mice. *J Steroid Biochem Mol Biol* **136**, 102. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2012.09.019>
- Lombardi G, Vitale JA, Logoluso S, Logoluso G, Cocco N, Cocco G (2017) Circannual Rhythm of Plasmatic Vitamin D Levels and the Association with Markers of Psychophysical Stress in a Cohort of Italian Professional Soccer Players. *Chronobiol Int* **34**, 471–479. <https://doi.org/10.1080/07420528.2017.1297820>

- Lovell G (2008) Vitamin D Status of Females in an Elite Gymnastics Program. *Clin. J Sport Med* **18**, 159–161. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181650eee>
- Martineau AR, Jolliffe DA, Hooper RL (2016) Vitamin D supplementation to prevent acute respiratory tract infections: systematic review and meta-analysis of individual participant data. *BMJ* **15**, 356. <https://doi.org/10.1136/bmj.i6583>
- Mason RS, Sequeira VB, Gordon-Thomson C (2011) Vitamin D: the light side of sunshine. *Eur J Clin Nutr* **65**, 986-993. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2011.105>
- Michalczyk MM, Chycki J, Zajac A, Maszczyk A, Zydek G, Langfort J (2019) Anaerobic Performance after a Low-Carbohydrate Diet (LCD) Followed by 7 Days of Carbohydrate Loading in Male Basketball Players. *Nutr* **11**, 778. <https://doi.org/10.3390/nu11040778>
- Michalczyk MM, Gołaś A, Maszczyk A, Kaczka P, Zając A (2020) Influence of Sunlight and Oral D3 Supplementation on Serum 25(OH)D Concentration and Exercise Performance in Elite Soccer Players. *Nutr* **12**,1311. <https://doi.org/10.3390/nu12051311>
- Michalczyk MM, Gołaś A, Maszczyk A, Kaczka P, Zając A (2020) Influence of Sunlight and Oral D3 Supplementation on Serum 25(OH)D Concentration and Exercise Performance in Elite Soccer Players. *Nutr* **12**, 1311. <https://doi.org/10.3390/nu12051311>
- Mielgo-Ayuso J, Calleja-González J, Urdampilleta A, León-Guereño P, Córdova A, Caballero-García A i sur. (1968) Effects of Vitamin D Supplementation on Haematological Values and Muscle Recovery in Elite Male Traditional Rowers. *Nutr* **10**, 1968. <https://doi.org/10.3390/nu10121968>
- Millward D, Root AD, Dubois J, Cohen RP, Valdivia L, Helming B (2020) Association of Serum Vitamin D Levels and Stress Fractures in Collegiate Athletes. *Orthop J Sports Med* **8**, 671-7. <https://doi.org/10.1177/2325967120966967>
- Mitchell, S (2013) The Effects of a Vitamin D Randomised Controlled Trial on Muscle Strength and Power in Female Adolescent Athletes. (diplomski rad), Massey University, Albany, New Zealand.
- Most A, Dörr O, Nef H, Hamm C, Bauer T, Bauer P (2021) Influence of 25-Hydroxy-Vitamin D Insufficiency on Maximal Aerobic Power in Elite Indoor Athletes: A Cross-Sectional Study. *Sports Med Open* **7**, 74. <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00363-1>

Mulligan GB, Licata A (2010) Taking vitamin D with the largest meal improves absorption and results in higher serum levels of 25-hydroxyvitamin D. *J Bone Miner Res* **25**, 928-30. <https://doi.org/10.1002/jbmr.67>

National Food Institute, Technical University of Denmark (2009) About the food data – Vitamins. Danish Food Composition Databank, <http://www.foodcomp.dk> Pristupljeno 13. kolovoza 2022.

National Research Council (1989) Recommended Dietary Allowances, 10. izdanje, National Academy Press, Washington, D. C.

Newbury JW, Chessor JR, Evans GM (2022) The annual vitamin D status of world-class British swimmers following a standardised supplementation protocol for three years, 2022, PREPRINT. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1463196/v1>

Nieman DC, Gillitt ND, Shanely RA, Dew D, Meaney MP, Luo B (2013) Vitamin D2 supplementation amplifies eccentric exercise-induced muscle damage in NASCAR pit crew athletes. *Nutr* **6**, 63-75. <https://doi.org/10.3390/nu6010063>

Nieman DC, Wentz LM (2019) The compelling link between physical activity and the body's defense system. *J Sport Health Sci* **8**, 201–17. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.09.009>

Nimptsch K, Platz EA, Willett WC, Giovannucci E (2012) Association between Plasma 25-OH Vitamin D and Testosterone Levels in Men. *Clin Endocrinol* **77**, 106–112. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2265.2012.04332.x>

Nimptsch K, Platz EA, Willett WC, Giovannucci E (2012) Association between plasma 25-OH vitamin D and testosterone levels in men. *Clin Endocrinol* **77**, 106-12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2265.2012.04332.x>

Norman AW (2006) Minireview: vitamin D receptor: new assignments for an already busy receptor. *Endocrinol* **147**, 5542-8. <https://doi.org/10.1210/en.2006-0946>

Ogan, D, Pritchett, K (2013) Vitamin D and the athlete: risks, recommendations, and benefits. *Nutr* **5**, 1856–1868. <https://doi.org/10.3390/nu5061856>

Outila TA, Karkkainen MU, Lamberg-Allardt CJ (2001) Vitamin D status affects serum parathyroid hormone concentrations during winter in female adolescents: associations with forearm bone mineral density. *Am J Clin Nutr* **74**, 206-10. <https://doi.org/10.1093/ajcn/74.2.206>

Ovesen L, Brot, C, Jakobsen J (2003) Food contents and biological activity of 25-hydroxyvitamin D: a vitamin D metabolite to be reckoned with? *Ann Nutr Metab* **47**, 107-113. <https://doi.org/10.1159/000070031>

Owens DJ, Allison R, Close GL (2018) Vitamin D and the Athlete: Current Perspectives and New Challenges. *Sports Med* **48**, 3–16. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0841-9>

Owens DJ, Allison R, Close GL (2018) Vitamin D and the athlete: current perspectives and new challenges. *Sports Med* **48**, 3–16. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0841-9>

Owens DJ, Sharples AP, Polydorou I (2015) A systems based investigation into vitamin D and skeletal muscle repair, regeneration and hypertrophy. *Am J Physiol* **309**, 1019–31. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00375.2015>

Owens DJ, Webber D, Impey SG, Tang J, Donovan TF, Fraser WD i sur. (2014) Vitamin D supplementation does not improve human skeletal muscle contractile properties in insufficient young males. *Eur J Appl Physiol* **114**, 1309–20. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2865-2>

Perić I, Gilić B, Blažević M (2020) Vitamin D status among youth soccer players; association with chronological age, maturity status, jumping and sprinting performance. U: Sport and quality of life, 12th international conference on kinanthropology, Brno, str. 119-124.

Pilz S, Frisch S, Koertke H, Kuhn J, Dreier J Obermayer-Pietsch B i sur. (2011) Effect of vitamin D supplementation on testosterone levels in men. *Horm Metab Res* **43**, 223–225. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1269854>

Pilz S, Frisch S, Koertke H, Kuhn J, Dreier J, Obermayer-Pietsch B i sur. (2011) Effect of vitamin D supplementation on testosterone levels in men. *Horm Metab Res* **43**, 223-5. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1269854>

Pludowski P, Karczmarewicz E, Bayer M, Carter G, Chlebna-Sokół D, Czech-Kowalska J, i sur. (2013) Practical guidelines for the supplementation of vitamin D and the treatment of deficits in Central Europe - recommended vitamin D intakes in the general population and groups at risk of vitamin D deficiency. *Endokrynol Pol* **64**, 319. <https://doi.org/10.5603/ep.2013.0012>

Reddy Vanga S, Good M, Howard PA, Vacek JL (2010) Role of vitamin D in cardiovascular health. *Am J Cardiol* **106**, 798–805. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2010.04.042>

Roberts C, Steer T, Maplethorpe N (2018) National Diet and Nutrition Survey Results from Years 7 and 8 (combined) of the Rolling Programme (2014/2015 to 2015/2016). Public Health

Sariakçali, Barış S, Ceylan, Levent C, Eliöz, Murat E (2020). Evaluation of end-seasonal vitamin d, plasma lipid and other biochemical measurements in professional football players: The case of sivas province in turkey. *Progr in Nutr* 2020027. <https://doi.org/10.23751/pn.v22i2-S.10611>

- Sassi F., Tamone C., D'Amelio P. (2018) Vitamin D: Nutrient, Hormone, and Immunomodulator. *Nutr* **10**, 1656. <https://doi.org/10.3390/nu10111656>
- Schertzer JD, Gehrig SM, Ryall JG, Lynch GS (2007) Modulation of insulin-like growth factor (IGF)-I and IGF-binding protein interactions enhances skeletal muscle regeneration and ameliorates the dystrophic pathology in mdx mice. *Am J Pathol* **171**, 1180-8.
- Schmid A, Walther B (2013) Natural vitamin D content in animal products. *Adv Nutr* **4**, 453-62. <https://doi.org/10.3945/an.113.003780>
- Schubert L, DeLuca HF (2010) Hypophosphatemia is responsible for skeletal muscle weakness of vitamin D deficiency. *Arch Biochem Biophys* **500**, 157-61. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2010.05.029>
- Seekin S, Ogün K, Nevzad D (2021) Vitamin D levels on sports injuries in outdoor and indoor athletes: A cross-sectional study. *Physici and Sportsmed* **50**. <https://doi.org/10.1080/00913847.2021.1969217>
- Sekel NM, Gallo S, Fields J, Jagim AR, Wagner T, Jones MT (2020) The Effects of Cholecalciferol Supplementation on Vitamin D Status Among a Diverse Population of Collegiate Basketball Athletes: A Quasi-Experimental Trial. *Nutr* **12**, 370. <https://doi.org/10.3390/nu12020370>
- Shanely RA, Nieman DC, Knab AM, Gillitt ND, Meaney MP, Jin F i sur. (2014) Influence of vitamin D mushroom powder supplementation on exercise-induced muscle damage in vitamin D insufficient high school athletes. *J Sports Sci* **32**, 670-9. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.847279>
- Shuler FD, Wingate MK, Moore GH (2012) Giangarra, C. Sports Health Benefits of Vitamin D. *Sport Health* **4**, 496–501. <https://doi.org/10.1177/1941738112461621>
- Silva MC, Furlanetto TW (2018) Intestinal absorption of vitamin D: a systematic review. *Nutr Rev* **76**, 60-76. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux034>
- Singh N, Singh U (2018) Vitamin D and calcium supplementation, skeletal muscle strength and serum testosterone in young healthy adult males: Randomized control trial. *Clin Endocrinol* **88**, 217-226. <https://doi.org/10.1111/cen.13507>
- Skalska M, Nikolaidis PT, Knechtle B, Rosemann TJ, Radzimiński Ł, Jastrzębska J (2019) Vitamin D Supplementation and Physical Activity of Young Soccer Players during High-Intensity Training. *Nutr* **11**, 349. <https://doi.org/10.3390/nu11020349>

- Spiro A, Buttriss JL (2014) Vitamin D: an overview of vitamin D status and intake in Europe. *Nutr Bull* **39**, 322–350. <https://doi.org/10.1111/nbu.12108>
- Srikuea R, Zhang X, Park-Sarge OK, Esser KA (2012) VDR and CYP27B1 are expressed in C2C12 cells and regenerating skeletal muscle: potential role in suppression of myoblast proliferation. *Am J Physiol Cell Physiol* **303**, 396-405. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00014.2012>
- Steinacker JM, Lormes W, Reissnecker S, Liu Y (2004) New Aspects of the Hormone and Cytokine Response to Training. *Eur J Appl Physiol* **91**, 382–391. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0960-x>
- Sugimoto H, Shiro Y (2012) Diversity and substrate specificity in the structures of steroidogenic cytochrome P450 enzymes. *Biol Pharm Bull* **35**, 818-23. <https://doi.org/10.1248/bpb.35.818>
- Tanaka M, Kishimoto KN, Okuno H, Saito H, Itoi E (2014) Vitamin D receptor gene silencing effects on differentiation of myogenic cell lines. *Muscle Nerve* **49**, 700-8. <https://doi.org/10.1002/mus.23950>
- Taylor CL, Patterson KY, Roseland JM, Wise SA, Merkel JM, Pehrsson PR i sur. (2014) Including food 25-hydroxyvitamin D in intake estimates may reduce the discrepancy between dietary and serum measures of vitamin D status. *J Nutr* **144**, 654-9. <https://doi.org/10.3945/jn.113.189811>
- Taylor CL, Rosen CJ, Dwyer JT (2019) Considerations in dietetic counseling for vitamin D. *J Acad Nutr Diet* **119**, 901-09.
- Todd JJ, McSorley EM, Pourshahidi LK, Madigan SM, Laird E, Healy M i sur. (2017) Vitamin D3 supplementation using an oral spray solution resolves deficiency but has no effect on VO₂ max in Gaelic footballers: results from a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Eur J Nutr* **56**, 1577-1587. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1202-4>
- Uday S, Högl W (2018) Prevention of rickets and osteomalacia in the UK: political action overdue. *Arch Dis Childh* **103**, 901–906. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-314826>
- Valtueña J, Aparicio-Ugarriza R, Medina D, Lizarraga A, Rodas G, González-Gross M i sur. (2021) Vitamin D Status in Spanish Elite Team Sport Players. *Nutr* **13**, 1311. doi: <https://doi.org/10.3390/nu13041311>
- van Schoor NM, Lips P (2011) Worldwide vitamin D status. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* **25**, 671-80. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2011.06.007>

- Veugelers PJ, Ekwaru JP (2014) A statistical error in the estimation of the Recommended Dietary Allowance for vitamin D. *Nutr* **6**, 4472-4475. <https://doi.org/10.3390/nu6104472>
- Visser M, Deeg DJH, Lips P (2003) Low Vitamin D and High Parathyroid Hormone Levels as Determinants of Loss of Muscle Strength and Muscle Mass (Sarcopenia): The Longitudinal Aging Study Amsterdam. *J Clin Endocrinol Metab* **88**, 5766–5772. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-030604>
- Vranešić Bender D, Giljević Z, Kušec V, Laktašić Žerjavić N, Bošnjak Pašić M, Vrdoljak E i sur. (2016) Smjernice za prevenciju, prepoznavanje i liječenje nedostatka vitamina D u odraslih. *Liječ Vjesn* **138**, 121–32.
- Walsh NP, Gleeson M, Shephard RJ (2011) Position statement. Part one: immune function and exercise. *Exerc Immunol Rev* **17**, 6–63.
- Wang TT, Tavera-Mendoza LE, Laperriere, D, Libby E, MacLeod NB, Nagai Y i sur. (2005) Large-scale in silico and microarray-based identification of direct 1,25-dihydroxyvitamin D3 target genes. *Mol Endocrinol* **19**, 2685–2695. <https://doi.org/10.1210/me.2005-0106>
- Weber AE, Bolia IK, Korber S, Mayfield CK, Lindsay A, Rosen J (2021) Five-Year Surveillance of Vitamin D Levels in NCAA Division I Football Players: Risk Factors for Failed Supplementation. *Orthop J Sports Med* **9**, 2325967120975100. <https://doi.org/10.1177/2325967120975100>
- Wilson-Barnes SL, Hunt JE, Lanham-New SA, Manders RJ (2020) Effects of vitamin D on health outcomes and sporting performance: Implications for elite and recreational athletes. *Nutr Bul* **45**, 11-24. <https://doi.org/10.1111/nbu.12413>
- Wilson-Barnes SL, Hunt JEA, Williams EL, Allison SJ, Wild JJ, Wainwright J, i sur. (2020) Seasonal variation in vitamin D status, bone health and athletic performance in competitive university student athletes: a longitudinal study. *J Nutr Sci* **9**, 8. <https://doi.org/10.1017/jns.2020.1>
- Wolf M (2010) Forging forward with 10 burning questions on FGF23 in kidney disease. *J Am Soc Nephrol* **21**, 1427-1435. <https://doi.org/10.1681/ASN.2009121293>
- Wyon MA, Koutedakis Y, Wolman R, Nevill AM, Allen N (2014) The influence of winter vitamin D supplementation on muscle function and injury occurrence in elite ballet dancers: a controlled study. *J Sci Med Sport* **17**, 8-12. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.03.007>

Wyon MA, Koutedakis Y, Wolman R, Nevill AM, Allen N (2014) The influence of winter vitamin D supplementation on muscle function and injury occurrence in elite ballet dancers: a controlled study. *J Sci Med Sport* **17**, 8-12. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2013.03.007>

Wyon MA, Wolman R, Nevill AM, Cloak R, Metsios GS, Gould D i sur. (2016) Acute Effects of Vitamin D3 Supplementation on Muscle Strength in Judoka Athletes: A Randomized Placebo-Controlled, Double-Blind Trial. *Clin J Sport Med* **26**, 279-84. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000264>


Zhang J, Cao ZB (2022) Exercise: A Possibly Effective Way to Improve Vitamin D Nutritional Status. *Nutr* **14**, 2652. <https://doi.org/10.3390/nu14132652>

Zhang L, Quan M, Cao ZB (2019) Effect of vitamin D supplementation on upper and lower limb muscle strength and muscle power in athletes: A meta-analysis. *PLoS One* **14**, e0215826. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215826>

7. PRILOZI

7.1. LETAK VITAMIN D - PRAKTIČNI SAVJETI ZA HRVATSKE SPORTAŠE

LJETO



VITAMIN D

Praktični savjeti za hrvatske sportaše

UVB visok SAMO od 11-15 sati

- 80% kroz izlaganje suncu

Tijekom ovog perioda osigurajte da su Vam lice ili udovi izloženi suncu 15-20 min, a nakon toga nanosite kremu za sunčanje. To će osigurati sintezu vitamina D u koži.

Posebnu pažnju sigurnom izlaganju suncu trebaju obratiti sportaši koji treniraju u zatvorenim prostorijama (košarkaši, gimnastičari, stolnotenisači ...).

OPREZI!

Izbjegavajte predugo izlaganje suncu, a samim time i rizik od opekotina



Vitamin D važan je i koristan sportašima jer *:

- nedostatak vitamina D povezan je sa smanjenom mišićnom masom i snagom
- je neophodan u razvoju i obnavljanju mišića te za funkciju mitohondrija
- utječe na metabolizam stanica skeletnih mišića, tj. anabolizam
- u treningu otpora, ima ulogu održavanja procesa regeneracije te sprječava oštećenja mišića

ZIMA

NEMA dovoljno UVB

- 20% kroz izlaganje suncu

Uzeti u obzir **suplementaciju vitaminom D** tijekom zime jer je teško unijeti 10-15 µg/dan iz hrane

TREKUTNE PREPORUKE:

10 – 15 µg/dan *

MOGUĆI UZROCI NEDOSTATKA:

- nedovoljan unos prehranom
- niska izloženost kože suncu
- genetski razlozi
- neke bolesti i lijekovi

OPREZI!

Intelektualizacija su rijetke, ali prije početka suplementacije treba se posavjetovati s liječnikom ili nutricionistom.

Ako smatrate da imate povećan rizik od nedostatka vitamina D, obratite se stručnoj osobi za provjeru i nadgledanje statusa vitamina D**

Izvori: *Curr Opin Clin Nutr Metab Care (2017) 20: 169.

** Kaić-Rak: Kaić-Rak A, Antonić K (1990) Tablice o sastavu namirnica i pića. Zavod za zaštitu zdravlja SR Hrvatske, Zagreb.

Letak je izrađen prema: Wilson-Barnes i sur. (2020) Effects of vitamin D on health outcomes and sporting performance: Implications for elite and recreational athletes. Nutr Bul 45, 11-24.

7.2. DOPIS ZDRAVSTVENE KOMISIJE HOO-a



STATUS VITAMINA D KOD VRHUNSKIH HRVATSKIH SPORTAŠA

VITAMIN D STATUS IN ELITE CROATIAN ATHLETES

PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET, Pierottijeva ul. 6, 10000, Zagreb

Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

Jadran Zonjić, diplomski rad

PREDMET: ODOBRENJE ISTRAŽIVANJA za diplomski rad Jadrana Zonjića, određivanja statusa vitamina D kod vrhunskih sportaša s ciljem prikupljanja podataka o serumskoj koncentraciji 25(OH)D te suplementacije u slučaju deficita s ciljem poboljšanja sportske izvedbe. Ispitivanje se provodi tijekom lipnja 2022. na 20-ak sportaša u Poliklinici Croatia u Zagrebu.

Poštovani,

istraživanje je provedeno u skladu sa svim etičkim standardima kod medicinskih istraživanja na ljudima (po principima najnovije verzije Helsinške deklaracije). Prije prikupljanja podataka objašnjena je svrha istraživanja i mogućnost prekida sudjelovanja u bilo kojem trenutku. U slučaju publikacije rada osobni podatci ostaju tajni i ne objavljuju se jer se rezultati ne promatraju na razini pojedinca već isključivo populacijske skupine. Svi sudionici dali su osobni pristanak, a provođenje istraživanja odobrila je Zdravstvena komisija HOO-a (sjednica Zdravstvene komisije HOO-a održana 4. lipnja, 2022.).

dr. Miran Martinac

predsjednik

Zdravstvene komisije HOOa



IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja JADRAN ZONJIĆ izjavljujem da je ovaj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Vlastoručni potpis