



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ФАКУЛТЕТ МЕДИЦИНСКИХ НАУКА

Драгутин М Стојменовић

**УТИЦАЈ ИНФЕКЦИЈЕ РАЗЛИЧИТИМ  
СОЈЕВИМА SARS-CoV-2 ВИРУСА НА  
ФУНКЦИОНАЛНЕ СПОСОБНОСТИ  
ВАКЦИНИСАНИХ И НЕВАКЦИНИСАНИХ  
ПРОФЕСИОНАЛНИХ СПОРТИСТА**

докторска дисертација

Крагујевац, 2026.



UNIVERZITET U KRAGUJEVCU  
FAKULTET MEDICINSKIH NAUKA

Dragutin M Stojmenović

**UTICAJ INFEKCIJE RAZLIČITIM SOJEVIMA  
SARS-CoV-2 VIRUSA NA FUNKCIONALNE  
SPOSOBNOSTI VAKCINISANIH I  
NEVAKCINISANIH VRHUNSKIH SPORTISTA**

doktorska disertacija

Kragujevac, 2026.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC  
FACULTY OD MEDICAL SCIENCE

Dragutin M Stojmenović

**THE IMPACT OF INFECTION WITH DIFFERENT  
STRAINS OF THE SARS-COV-2 VIRUS ON THE  
FUNCTIONAL ABILITIES OF VACCINATED AND  
UNVACCINATED ELITE ATHLETES**

doctoral dissertation

Kragujevac, 2026.

## Идентификациона страница докторске дисертације

<b>Аутор</b>
Име и презиме: Драгутин Стојменовић
Датум и место рођења: 17.06.1973, Београд
Садашње запослење: Тренер клуба за развој деце у спорту Кид 3
<b>Докторска дисертација</b>
Наслов: Утицај инфекције различитим сојевима SARS CoV 2 вируса на функционалне способности вакцинисаних и невакцинисаних професионалних спортиста
Број страница: 93
Број слика: 12, број табела 13, број графикона 21
Број библиографских података: 119
Установа и место где је рад израђен: Лабораторија за физиологију напора Вита Максима
Научна област (УДК): Медицинске науке
Ментор: титула, име и презиме, звање, назив факултета/института и универзитета
Доц. Др Јасмина Сретеновић, доцент за ужу научну област Физиологија.Факултет медицинских наука, Крагујевац, Универзитет Крагујевац
Број и датум одлуке Већа универзитета о прихватању теме докторске дисертације:
IV-03-12-18 22.01 2024.

### Identifikaciona stranica doktorske disertacije

<b>Autor</b>
Ime i prezime: Dragutin Stojmenović
Datum i mesto rođenja: 17.06 1973. Beograd
Sadašnje zaposlenje: Trener u klubu za razvoj dece u sportu Kid 3
<b>Doktorska disertacija</b>
Naslov: Uticaj infekcije razilicitim sojevima SARS-CoV-2 virusa na funkcionalne sposobnosti vakcinisanih i nevakcinisanih profesionalnih sportista
Broj stranica: 93
Broj slika: 12, broj tabela 13, broj grafikona 21
Broj bibliografskih podataka: 119
Ustanova i mesto gde je rad izrađen: Labaratorija za fiziologiju napora Vita Maxima
Naučna oblast (UDK): Medicinske nauke
Mentor: titula, ime i prezime, zvanje, naziv fakulteta/instituta i univerziteta
Doc.dr Jasmina Sretenović, docentza užu naučnu oblast Fiziologija. Fakultet medicinskih nauka Kragujevac, Univerzitet Kragujevac
Broj i datum odluke Veća univerziteta o prihvatanju teme doktorske disertacije:
IV-03-12-18 22.01 2024.

### Identification page of the doctoral dissertation

<b>Author</b>
Name and surname: Dragutin Stojmenović
Date and place of birth: 17.06. 1973 Belgrade
Current employment: Head coach in academy for development kids in sports Kid 3
<b>Doctoral Dissertation</b>
Title: The Impact of Infection with Different SARS-CoV-2 Variants on the Functional Capacity of Vaccinated and Unvaccinated Professional Athletes
No. of pages: 93
No. of images: 12, number of tables 13, number of graphs 21
No. of bibliographic data: 119
Institution and place of work: Laboratory for Exercise Physiology "Vita Maxima"
Scientific area (UDK): Medical Sciences
Mentor: Dr Jasmina Sretenovic, MD, PhD, Assistant Professor at the Faculty of Medical Sciences, University of Kragujevac, physiology
Topic Application Date: 28.12. 2023
Decision number and date of acceptance of the doctoral dissertation topic:
IV-03-12-18 22.01 2024.

## Захвалница

Највећу захвалност изражавам својој супрузи, Тамари, на континуираној подршци, разумевању и охрабрењу током читавог процеса израде ове докторске дисертације. Њена подршка представљала је значајан ослонац у свим фазама рада.

Такође, захваљујем њеним родитељима, Бранку и Гордани, на указаном поверењу, подршци и помоћи коју су ми пружили током овог важног периода.

Искрену захвалност дугујем професорима и сарадницима са Катедре за примењену и експерименталну физиологију са спортском медицином, посебно Проф. др Владимиру Живковићу и Проф. др Ивану Срејовићу као и осталим колегама са катедре, за стручно вођство, подстицајне дискусије и несебично преношење знања.

Велику захвалност имам према својој менторки, Доц. др Јасмини Сретеновић, на стручној и методолошкој подршци, као и на смерницама и конструктивним саветима који су били од значаја у реализацији ове дисертације.

Ова докторска дисертација посвећена је мом сину Јовану, као подсећање да у животу ништа није немогуће

## Сажетак

**Увод:** Пандемија COVID-19 изазвана SARS-CoV-2 вирусом значајно је утицала на спортску популацију, постављајући бројна питања о дугорочним последицама инфекције на кардиореспираторну спремност.

**Материјал и методе:** У овој ретропсективној кохортној студији испитаници су били професионални спортисти међународног нивоа (n=220), који су спороводили кардиопулмонални тест напором (СПЕТ) како би се процениле и упоредили промене у функционалним параметрима након инфекције различитим сојевима SARS-CoV-2 вируса (Wuhan, Delta, Omicron).

**Резултати:** Добијени резултати указују да је Omicron сој имао значајно мањи утицај на функционалне параметре у поређењу са Delta и Wuhan сојевима. Вакцинација је имала ограничен утицај на очување функционалних способности, при чему је статистички значајан ефекат забележен само за  $\dot{V}O_2 \max$  (+4,5%) и  $\dot{V}O_2$  на VAT1 (+2,4%). Истовремено, вакцинисани спортисти имали су очуваније и боље функционалне способности након инфекције вирусом.

**Закључак:** Ово истраживање потврђује да Omicron сој има најблаже последице по кардиореспираторну спремност спортиста, док су Delta и Wuhan сојеви довели до значајног смањења функционалних капацитета. Потврђено је и да вакцинација против SARS-CoV-2 вируса има ефекта на смањење последица на кардиореспираторну функцију спортиста.

**Кључне речи:** SARS-CoV-2, сојеви вируса, вакцинација, врхунски спортисти, кардиореспираторна спремност,  $\dot{V}O_2 \max$ , СПЕТ.

## Sažetak

**Uvod:** Pandemija COVID-19 izazvana SARS-CoV-2 virusom značajno je uticala na sportsku populaciju, postavljajući brojna pitanja o dugoročnim posledicama infekcije na kardiorespiratornu spremnost.

**Materijal i metode:** U ovoj retrospektivnoj kohortnoj studiji ispitanici su bili profesionalni sportisti međunarodnog nivoa (n=220), koji su sporovodili kardiopulmonalni test naporom (CPET) kako bi se procenile i uporedile promene u funkcionalnim parametrima nakon infekcije različitim sojevima SARS-CoV-2 virusa (Wuhan, Delta, Omicron).

**Rezultati:** Dobijeni rezultati ukazuju da je Omicron soj imao značajno manji uticaj na funkcionalne parametre u poređenju sa Delta i Wuhan sojevima. Vakcinacija je imala ograničen uticaj na očuvanje funkcionalnih sposobnosti, pri čemu je statistički značajan efekat zabeležen samo za  $VO_2$  max (+4,5%) i  $VO_2$  na VAT1 (+2,4%). Istovremeno, vakcinisani sportisti imali su očuvanije i bolje funkcionalne sposobnosti nakon infekcije virusom.

**Zaključak:** Ovo istraživanje potvrđuje da Omicron soj ima najblaže posledice po kardiorespiratornu spremnost sportista, dok su Delta i Wuhan sojevi doveli do značajnog smanjenja funkcionalnih kapaciteta. Potvrđeno je i da vakcinacija protiv SARS-CoV-2 virusa ima efekat na smanjenje posledica na kardiorespiratornu funkciju sportista.

**Ključne reči:** SARS-CoV-2, sojevi virusa, vakcinacija, vrhunski sportisti, kardiorespiratorna spremnost,  $VO_2$  max, CPET.

## Abstract

**Introduction:** The COVID-19 pandemic, caused by the SARS-CoV-2 virus, has had a substantial impact on the athletic population, raising numerous questions regarding the long-term consequences of infection on cardiorespiratory fitness.

**Materials and Methods:** In this retrospective cohort study, the subjects were professional athletes at the international level (n=220), who underwent cardiopulmonary exercise testing (CPET) to evaluate and compare changes in functional parameters following infection with different SARS-CoV-2 virus strains (Wuhan, Delta, Omicron).

**Results:** The results indicate that the Omicron strain had a significantly milder impact on functional parameters compared to the Delta and Wuhan strains. This was particularly reflected in higher values of  $\text{VO}_2$  max and ventilatory efficiency ( $\text{VE}/\text{VCO}_2$ ) among athletes infected with Omicron. Vaccination had a limited effect on preserving functional capacity, with a statistically significant impact observed only for  $\text{VO}_2$  max (+4.5%) and  $\text{VO}_2$  at VAT1 (+2.4%). At the same time, vaccinated athletes showed better preserved and improved functional capacity after the viral infection."

**Conclusion:** This study confirms that the Omicron strain has the mildest impact on athletes' cardiorespiratory fitness, while the Delta and Wuhan strains resulted in significant reductions in functional capacity. It has also been confirmed that vaccination against the SARS-CoV-2 virus has an effect in reducing the impact on the cardiopulmonary function of athletes."

**Keywords:** SARS-CoV-2, viral strains, vaccination, elite athletes, cardiorespiratory fitness,  $\text{VO}_2$  max, CPET.

# САДРЖАЈ

1. УВОД	
1.1 Функционалне способности	1
1.2 Кардиоваскуларни систем	1
1.2.1 Срчана фреквенција	2
1.2.2 Кисеонички пулс и значај у физиологији вежбања	3
1.3 Респираторни систем	3
1.3.1 Вентилаторна ефикасност и значај за физиологију вежбања	4
1.3.2 Вентилаторни прагови и њихов значај у физиологији вежбања	8
1.3.3 Тачка респираторне компензације и њен значај за физиологију вежбања	9
1.3.4 Тачка респираторне размене RER	10
1.4. Функционалне способности у спорту и максимална потрошња кисеоника	11
1.4.1 Аеробна способност	11
1.4.2 Анаеробна способност	14
1.5. Пандемија SARS-CoV-2 вируса	15
1.5.1 Утицај пандемије SARS-CoV-2 на спорт и спортску популацију	16
2. ЦИЉЕВИ И ХИПОТЕЗЕ	19
2.1 Главни циљеви истраживања	20
2.1.1 Специфични циљеви истраживања	20
2.2 Хипотезе истраживања	20
2.2.1 Главне хипотезе	20
2.2.2 Помоћне хипотезе	20
3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ	21
3.1 Врста студије	22
3.2 Учесници и дизајн студије	22
3.3. Узорковање	23
3.4. Критеријуми за укључење у студију	23
3.5. Критеријуми за искључење из студије	23
3.6. Прикупљање података	23
3.7. Протокол кардиопулмоналног теста оптерећења	24
3.8. Електрокардиографско праћење и респираторна функција	24
3.9. Аеробни капацитет и метаболички одговор на напор	26
3.10. Биохемијске анализе	28
3.11. Ултрасонографска дијагностика	28
3.12. Снага студије и величина узорка	28
4. РЕЗУЛТАТИ	30
4.1. Вредности параметара ултразвука срца испитаника пре почетка тестирања	31

4.2. Вредности параметара лабораторијских анализа срчаних биомаркера испитаника пре почетка испитивања.....	32
4.3 Утицај инфекције различитим сојевима SARS CoV 2 вируса на функционалне способности вакцинисаних и невакцинисаних врхунских спортиста.....	33
4.4. Утицај различитих сојева SARS CoV 2 вируса на функционалне способности врхунских спортиста.....	35
4.5. Утицај статуса вакцинације на функционалне способности врхунских спортиста.....	36
4.6. Утицај различитих вакцина на функционалне способности врхунских спортиста ...	37
4.7. Утицај различитих сојева SARS CoV 2 вируса и статуса вакцинације на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_{2max}$ ) врхунских спортиста.....	38
4.8. Однос између врсте спорта и статуса вакцинације и утицај на максималну потрошњу кисеоника.....	39
4.9. Утицај статуса вакцинације и врсте спорта на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_{2max}$ ) врхунских спортиста.....	40
4.10. Утицај врсте вакцине на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_{2max}$ ) врхунских спортиста..	41
4.11. Утицај различитих сојева SARS CoV 2 и статуса вакцинације на потрошњу кисеоника на првом вентилаторном прагу ( $V_{O2}/V_{AT}$ ) код врхунских спортиста.....	42
4.12. Утицај различитих врста вакцина на потрошњу кисеоника на првом вентилаторном прагу ( $V_{O2}/V_{AT}$ ) код врхунских спортиста.....	43
4.13. Утицај различитих сојева Sars Cov 2 на однос респираторне размене гасова (RER) код вакцинисаних и невакцинисаних врхунских спортиста.....	44
4.14. Утицај различитих сојева Sars Cov 2 и статуса вакцинације на однос респираторне размене гасова (RER).....	45
4.15. Утицај различитих врста вакцине на однос респираторне размене гасова (RER).....	46
4.16. Однос соја вируса SARS CoV-2 и статуса вакцинације на вентилаторну ефикасност ( $VE/V_{CO2}$ ).....	48
4.17. Утицај врсте соја SARS CoV-2 и врсте вакцине на вентилаторну ефикасност ( $VE/V_{CO2}$ ). 49	
4.18. Утицај врсте соја SARS CoV-2 и статуса вакцинације на вентилаторну ефикасност ( $VE/V_{CO2}$ ).....	50
4.19. Однос соја вируса SARS CoV-2 и врсте вакцине на вентилаторну ефикасност ( $VE/V_{CO2}$ ) 51	
4.20. Однос врсте вакцина и соја вируса у односу на групе.....	52
4.21. Утицај вакцинационог статуса и соја вируса у односу на групе спортиста.....	53
4.22. Утицај различитих сојева SARS CoV-2 на кисеонички пулс ( $O_2/HR$ ) вакцинисаних и невакцинисаних врхунских спортиста.....	54
4.23. Утицај различитих врста вакцина на кисеонички пулс ( $O_2/HR$ ) код врхунских спортиста..	55
4.24. Утицај различитих сојева SARS CoV-2 и вакцинације на параметре срчане фреквенце на првом вентилаторном прагу ( $HR/V_{AT1}$ ).....	56
4.25. Утицај различитих врста вакцина на срчану фреквенцу на првом вентилаторном прагу ( $HR/V_{AT1}$ ).....	57
4.26. Утицај различитих сојева SARS CoV-2 и статуса вакцинације на срчану фреквенцу на другом вентилаторном прагу ( $HR/V_{AT2}$ ).....	58
4.27. Утицај врсте вакцине на срчану фреквенцу на другом вентилаторном прагу $HR/V_{T2}$ .....	59
4.28. Утицај врсте соја SARS CoV-2 статуса вакцинације на максималну срчану фреквенцу ( $Hr_{max}$ ).....	60
4.29. Утицај врсте спорта и статуса вакцинације на максималну срчану фреквенцу ( $Hr_{max}$ ).....	61

4.30. Утицај врсте соја SARS CoV-2 статуса вакцинације на срчану фреквенцу у првом минута опоравка .....	62
4.31. Утицај врсте соја SARS CoV-2 статуса вакцинације на срчану фреквенцу у другом минута опоравка .....	63
4.32. Утицај врсте соја SARS CoV-2 статуса вакцинације на срчану фреквенцу у трећем минута опоравка .....	64
4.33. Утицај спорта на срчану фреквенцу у прва три минута опоравка .....	65
5. ДИСКУСИЈА .....	66
5.1. Утицај различитих сојева на функционалне способности вакцинисаних и невакцинисаних професионалних спортиста .....	67
5.2. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_2 \max$ ) код врхунских спортиста .....	68
5.3. Утицај врсте спорта и статуса вакцинације на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_2 \max$ ) врхунских спортиста .....	69
5.4. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 и вакцинације на аеробну економичност – потрошњу кисеоника на првом вентилаторном прагу ( $VO_2$ на $VAT_1$ ) .....	70
5.5. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 и вакцинације на вентилаторну ефикасност ( $VE/VCO_2$ ) .....	71
5.8. Утицај различитих сојева на параметре срчане фреквенце (HR) на вентилаторним праговима код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста .....	73
5.9. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 на ехокардиографске параметре спортиста након инфекције .....	74
5.10. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 на инфламаторне и срчане маркере спортиста након инфекције .....	75
6. ЗАКЉУЧАК .....	77
7. ЛИТЕРАТУРА .....	80

# 1. УВОД

## 1.1 Функционалне способности

Функционалне способности називају се у литератури још и кардиореспираторне способности, а представљају способност организма да ствара енергију за рад свих органа у телу (1). Кардиореспираторне способности човека, са својим основним кардиоваскуларним и респираторним компонентама, представљају кључне аспекте људске физиологије, одражавајући комплексну интеракцију срца, плућа и крвних судова у одржавању адекватног снабдевања кисеоником ткива током физичке активности(2).Разумевање ових функционалних способности осветљава фундаменталне процесе физиолошког одговора организма на напоре, и пружа и основу за успешну дијагностику и третман кардиореспираторних поремећаја.

## 1.2 Кардиоваскуларни систем

Кардиоваскуларни систем представља комплексан скуп органа и структура у телу који су одговорни за циркулацију крви. Овај систем укључује срце, крвне судове и крв. Срце функционише као централни орган, пумпајући крв кроз артерије, вене и капиларе широм тела (3). Артерије преносе кисеоник и хранљиве супстанце ка ткивима, док вене враћају крв у срце (слика 1). Крвни судови регулишу крвни притисак и пропусност за размену супстанци у ткивима. Ова системска интеракција осигурава неопходне материје и кисеоник за функционисање различитих делова тела, укључујући мускулатуру, органе и централни нервни систем.

Срце је главни орган кардиоваскуларног система. Састоји од две преткоморе и две коморе, десне и леве. Десна преткомора прима крв која је сиромашна кисеоником из тела и преко десне коморе је шаље у плућа ради оксигенације и уклањања угљендиоксида (4). Након оксигенације крви она се враћа у леву пореткомору, па затим у леву комору одакле се испумпава преко аорте у све делове тела чиме се организам исхрањује кисеоником и осталим храњивим материјама (5). Сматра се да срце током једног минута може да испумпа више од 5 литара крви, у зависности од тежине и висине особе.

Кардиоваскуларни систем има кључну улогу у спорту због своје важности у преносу кисеоника и хранљивих супстанци у мишиће тела (6-8).Током физичке активности, мишићи захтевају већу количину кисеоника и енергије, а кардиоваскуларни систем омогућава ефикасан пренос ових супстанци између срца и мишића.

Подржавајући оптималну циркулацију крви и оксигенацију, кардиоваскуларни систем помаже у побољшању издржљивости, спречавању умора и повећавању перформанси у спорту. Додатно, његова улога у убрзавању регенерације мишића након напора игра кључну улогу у оптималном тренингу и опоравку спортиста.



Слика 1: Кардиоваскуларни систем код људи Извор: Canva.com

### 1.2.1 Срчана фреквенција

Срчана фреквенција (енг- Heart rate HR) или срчани циклус, представља број откуцаја срца током једног минута и може да буде добар показатељ здравственог стања организма. Код особа без здравствених проблема, које се не баве спортом срчана фреквенција креће се у распону од 70 до 100 откуцаја у мировању.

Особе које имају редовну физичку активност фреквенција у мировању може да буде мања, у просеку од 60 до 80 откуцаја у минути (9,10). Са друге стране, максимална срчана фреквенција (енг - Maximal heart rate MHR) представља највећи број откуцаја који срце може да постигне у једној минути током максималног физичког напора. Ова вредност је од великог значаја у физиологији вежбања и спорта, јер пружа информације о капацитету кардиоваскуларног система да обезбеди хранљиве супстанце мишићима током максималног напора. MHR се често користи у прегледима физичке способности и процени кардиоваскуларног здравља.

Процена MHR често се обавља помоћу метода на тредмилу, бицикл-ергометру или другим методама физичког напора, у којима се пулс мери у различитим стадијумима физичког напора, као што су почетак теста, максимални напор и период одмора. MHR се одређује када пулс више не расте са додатним напором или када достигне одређену вредност која је у складу са стандардима за доб испитаника. Студије су показале да MHR може бити позитивно повезана са физичком активношћу и кардиоваскуларним здрављем (10).

Према томе, редовно вежбање може повећати MHR и побољшати опште кардиоваскуларно здравље. Максимална срчана фреквенција се на индиректан начин за сваку особу може одредити помоћу формуле када се од броја 220 одузме број година старости. На тај начин сваки појединац може да сазна колика је његова теоретска максимална срчана фреквенција и да на основу ње дозира своју физичку активност.

### 1.2.2 Кисеонички пулс и значај у физиологији вежбања

У домену физиологије вежбања, концепт кисеоничког пулса (енг- Oxygen pulse, OP) представља кључну меру кардиореспираторног одговора организма на физичку активност. Кисеонички пулс се дефинише као количина кисеоника која се потроши током једног срчаног откуцаја, што се изражава у милилитрима по откуцају срца (енг- ml/beat) (11). Ова мера омогућава детаљније сагледавање ефикасности срчано-плућног система током вежбања.

Кисеонички пулс је производ два кључна параметра: минутног волумена срца (енг –Minute volume of the heart ) и артериовенске разлике у кисеонику ( $A-Vo_2$ ). Минутни волумен срца представља количину крви коју срце пумпа у јединици времена, док  $A-Vo_2$  означава разлику у концентрацији кисеоника између артеријске и венске крви (12). Комбинација ових параметара омогућава одређивање ефикасности срчано-плућног система у испоруци кисеоника мишићима током физичке активности.

Значај кисеоничког пулса лежи у његовој способности да пружи увид у укупну аеробну способност организма, као и у адаптације које се јављају током тренинга. Висок кисеонички пулс је повезан са бољом кардиореспираторном функцијом, већим капацитетом плућа, јачим срчаним мишићем и побољшаном периферном васкуларном функцијом (13). Ова карактеристика је посебно важна у процени кардиореспираторног здравља, као и у праћењу напретка у физичком тренингу.

Студије су показале да је кисеонички пулс ефикасан предиктор кардиоваскуларних болести и укупног морталитета. Смањени кисеонички пулс може бити индикатор срчане дисфункције или других кардиоваскуларних проблема. (13). Са друге стране, повећање кисеоничког пулса након периода тренинга може указивати на побољшану функцију срца и плућа, као и на повећање аеробне способности организма.

Нормалне вредности кисеоничког пулса за спортисте варирају у зависности од низа фактора, укључујући врсту спорта, ниво кондиције, старост и пол спортисте. Међутим, општеприхваћене референтне вредности за кисеонички пулс код спортиста крећу се у распону од 20 до 30 милилитара кисеоника по килограму телесне масе у минути (мл/кг/мин) (14). Ово се односи на способност срца и плућа да ефикасно искористе кисеоник током физичке активности. У неким случајевима, врхунски спортисти могу имати још веће вредности кисеоничког пулса, што је резултат високог нивоа аеробне кондиције и ефикасног кардиоваскуларног система.

### 1.3 Респираторни систем

Респираторни систем човека представља скуп органа у телу који су одговорни за примање кисеоника и избацивање угљен диоксида. Овај систем укључује органе као што су нос, душник, бронхије, алвеоле и дијафрагма. Током физичке активности, потреба за кисеоником се повећава, а респираторни систем омогућава примање већих количина кисеоника у тело и избацивање већих количина угљен диоксида (15). Ово подстиче оптимални аеробни метаболизам и производњу енергије за мишићну активност.

Оптимално функционисање респираторног система омогућава спортистима да имају већу издржљивост, бржу регенерацију и бољи опоравак након напора (16). Такође, његова улога у одржавању регулације телесне температуре и кисело-базне равнотеже доприноси оптималном функционисању организма за вишесатне спортске наступе и тренинге. Укратко, респираторни систем је од кључног значаја за спортисте јер подржава њихову оптималну спортску изведбу и опоравак.

Ипак, у респираторном одговору организма на напор спортисте постоје одређене разлике и то зависи од тога који је спорт у питању, да ли је спорт издржљивости или спорт интензитета или су спортске игре у питању (17).

### 1.3.1 Вентилаторна ефикасност и значај за физиологију вежбања

Вентилаторна ефикасност (енг - Ventilatory efficiency VE), је кључни параметар респираторне функције и игра виталну улогу у прилагођавању организма на физичку активност. Овај параметар се односи на способност плућа и дисајних путева да адекватно снабдевају организам кисеоником и уклањају угљен-диоксид током вежбања (18,19).

Мерење вентилаторне ефикасности омогућава боље сагледавање респираторног одговора организма на оптерећење и процену аеробне способности. Кључни параметри који се користе у процени вентилаторне ефикасности укључују минутни волумен (енг- Minute volume MV), респираторну фреквенцију (енг- Respiratory frequency RF), дубину дисања (енг - Respiratory depth RD), као и однос између вентилације и потрошње кисеоника ( $VE/VO_2$ ) (20). Минутни волумен представља укупан волумен ваздуха који особа удахне или издахне у једној минути, док респираторна фреквенција означава број удаха у истом временском периоду.

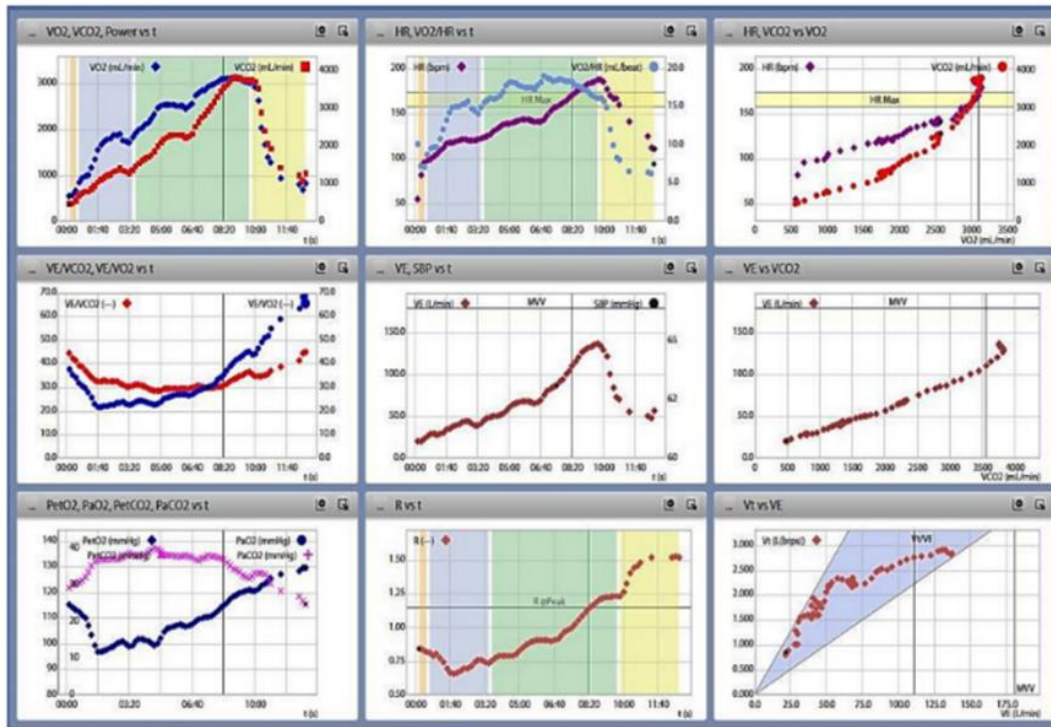
Дубина дисања се односи на количину ваздуха која се издише или удахне током једног удаха. Однос  $VE/VO_2$  мери колико ваздуха се издише у односу на количину кисеоника која се потроши током вежбања.

Значај вентилаторне ефикасности у физиологији вежбања представља њену способности да прикаже јасније ефикасност респираторног система у одговору на оптерећење. Ефикасан вентилаторни одговор омогућава адекватну снабдевеност организма кисеоником и ефикасно уклањање угљен-диоксида, што резултира побољшаном аеробном способношћу и смањеним осећајем замора током вежбања (21).

Са друге стране, смањена вентилаторна ефикасност може бити индикатор респираторних проблема или лоше прилагођавање организма на физичку активност. Студије су показале да побољшана вентилаторна ефикасност може бити повезана са бољим спортским перформансама, бржим опоравком од напора, као и смањењем ризика од респираторних обољења (22).

Вредности вентилаторне ефикасности код професионалних спортиста варирају у зависности од врсте спорта, нивоа кондиције, тренинга и других фактора. Међутим, према општим смерницама, професионални спортисти обично имају високу вентилаторну ефикасност због њихове побољшане аеробне способности и адаптација на интензивну физичку активност. Ово се често манифестује у повећаном минутном волумену вентилације (MV) и повећаној ефикасности дисања током оптерећења. Студије су показале да елите спортисти, као што су бициклисти, атлетичари дугих дистанци, маратонци или пливачи, могу имати изузетно високе вредности MV-а, које могу премашити 200 литара ваздуха у минути (2).

Међутим, вредности MV-а зависе од различитих фактора, укључујући старост, пол, ниво кондиције и врсту спорта. У оквиру физиолошких евалуација, један од кључних параметара који се анализира код вентилаторне ефикасности је вентилаторна крива (енг  $VE/VCO_2$  slope), која пружа драгоцен увид у вентилаторни одговор организма током физичке активности.



Слика 2: Васерманове криве (енг.: Wasserman nine panel): VO<sub>2</sub> = потрошња кисеоника (енг. oxygen consumption), VCO<sub>2</sub> = производња угљен-диоксида (енг. Carbon dioxide output), HR (енг. Heart rate )

Вентилаторна крива представља графикон који приказује однос између минутне вентилације (VE) и продукције угљен-диоксида (VCO<sub>2</sub>) током различитих интензитета оптерећења (слика 2). Кључни аспекти VE/VCO<sub>2</sub> криве укључују:

1.Размера VE/VCO<sub>2</sub>:Однос између VE и VCO<sub>2</sub> представља важан индикатор вентилаторне ефикасности организма током физичке активности. Уобичајено, ова мера је релативно стабилна током лакших интензитета оптерећења, али се повећава са интензитетом оптерећења, посебно код појединаца са смањеном кардиореспираторном функцијом (23).

2.Прагови вентилаторне економије: VE/VCO<sub>2</sub> крива омогућава идентификацију прагова вентилаторне економије током теста оптерећења. Ови прагови представљају тачке на којима долази до промене у вентилаторној ефикасности организма, што може указивати на прелазак са аеробног на анаеробни метаболизам и почетак акумулације млечне киселине.

3.Индикација кардиореспираторних дисфункција: Анализа VE/VCO<sub>2</sub> криве може пружити дијагностички увид у кардиореспираторне дисфункције, као што су срчана инсуфицијенција или плућне болести. Промене у облику и нагибу кривуље могу указивати на поремећаје у вентилаторном одговору организма и омогућити праћење ефеката терапије (24).

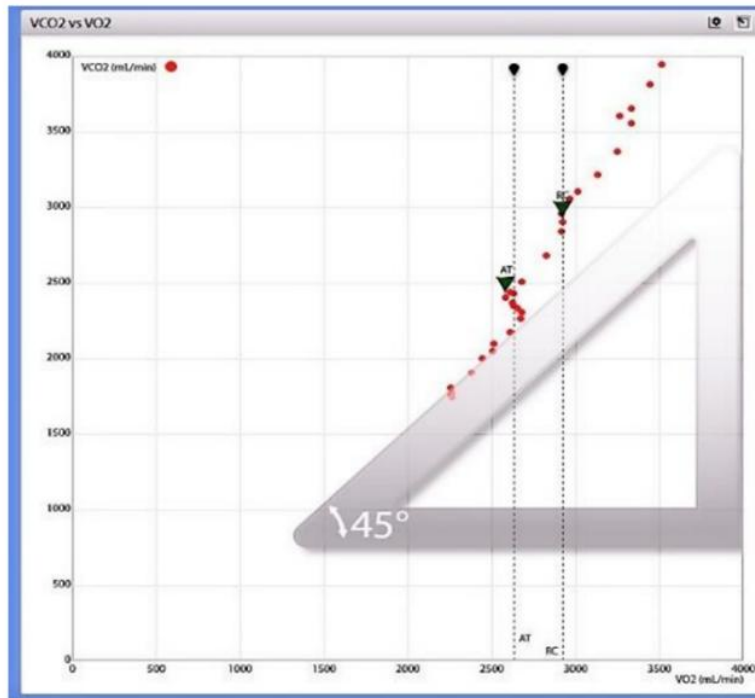
4.Процена аеробне способности: VE/VCO<sub>2</sub> крива може се користити за процену аеробне способности и утврђивање максималног аеробног капацитета (Vo<sub>2</sub> max). Промене у VE/VCO<sub>2</sub> односу током теста оптерећења могу пружити информације о ефикасности вентилаторног система и кардиореспираторне адаптације на физичку активност (слика 3).

Значај VE/VCO<sub>2</sub> криве лежи у њеној способности да пружи детаљан увид у вентилаторни одговор организма током физичке активности и да идентификује евентуалне поремећаје у кардиореспираторној функцији. Анализа ове криве омогућава персонализован приступ у процени и праћењу кардиореспираторне функције, што је од суштинског значаја у превенцији и третману различитих кардиореспираторних обољења.

Разумевање овог концепта омогућава боље планирање и праћење тренинга, као и идентификацију потенцијалних проблема у респираторном систему. Вентилаторна ефикасност представља кључну меру у процени респираторног одговора организма на физичку активност.

Разумевање понашања VE/VCO<sub>2</sub> криве омогућава не само боље планирање и дозирање тренинга у спортској популацији, већ и рано препознавање субклиничких респираторних и циркулаторних поремећаја код асимптоматских особа. У клиничкој пракси, овај индикатор је један од најпоузданијих предиктора укупног преживљавања код пацијената са срчаном инсуфицијенцијом, често чак и више од VO<sub>2</sub>max вредности.

Вентилаторна ефикасност, као кључна мера у процени респираторног одговора на физички стрес, интегрално је повезана са способношћу организма да оптимално елиминише CO<sub>2</sub> уз минималан вентилаторни напор. Управо зато, VE/VCO<sub>2</sub> анализа представља златни стандард у ергоспирометријским проценама, како у клиничким, тако и у спортским условима.



**Слика 3:** Крива VCO2 наспрам VO2: Повећање нагиба изнад угла од 45° (нагиб > 1). VCO2 = производња угљен-диоксида (енг. Carbon dioxide output), VO2 = потрошња кисеоника:

### 1.3.2 Вентилаторни прагови и њихов значај у физиологији вежбања

У домену физиолошких истраживања, тест оптерећења, ергоспирометријско тестирање или кардиопулмонарни тест оптерећењем (енг – Cardiopulmonary Excercise test CPET) представља кључни инструмент за процену кардиореспираторне способности и функције плућа.

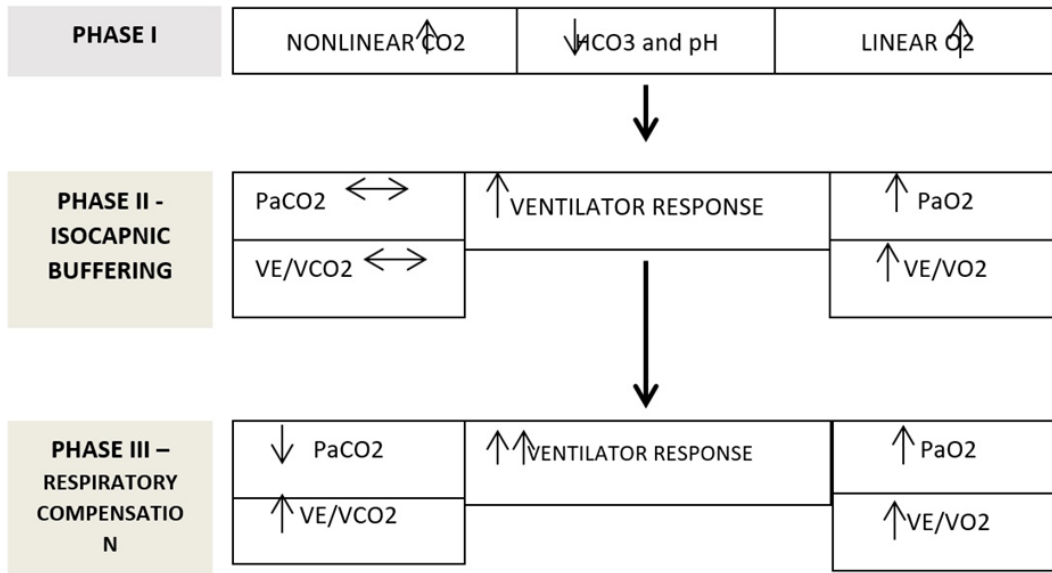
Током овог теста, један од кључних параметара који се прати су вентилаторни прагови, који пружају дубљи увид у вентилаторни одговор организма на повећану физичку активност. Вентилаторни прагови се дефинишу као тачке током теста оптерећења на којима долази до одређених промена у вентилаторним параметрима, као што су вентилаторни еквиваленти кисеоника ( $VE/VO_2$ ) и угљен-диоксида ( $VE/VCO_2$ ), као и респираторни коефицијент (енг- Respiratory quotient RQ) (25). Кроз научна истраживања, идентификована су два основна вентилаторна прага:

Први вентилаторни праг (енг- First Ventilatory treshold VT1): Овај праг означава тачку током теста оптерећења на којој долази до почетка повећања  $VE/VO_2$  без значајног повећања  $VE/VCO_2$ . VT1 је повезан са преласком са аеробног на анаеробни метаболизам, односно почетком акумулације млечне киселине у мишићима.

Други вентилаторни праг (енг- Second Ventilatory treshold VT2): Овај праг представља тачку на којој долази до значајног повећања  $VE/VCO_2$ , што указује на повећање респираторног квоцијента и прелазак на претежно анаеробно метаболизирање глукозе. VT2 је повезан са појавом респираторне ацидозе и представља индикатор максималног аеробног капацитета организма (26).

Други вентилаторни праг се дефинише и као тачка респираторне компензације (енг- Respiratory compensation point RCP) током теста оптерећења на којој долази до достизања максималне вентилаторне капацитете организма, што се манифестује као повећање  $VE$  без пратећег повећања  $VO_2$  (слика 4).

Овај праг је често повезан са појавом вентилаторне инсуфицијенције и представља границу између физиолошке адаптације и преоптерећења вентилаторног система (27). Значај вентилаторних прагова лежи у њиховој способности да пруже детаљан увид у кардиореспираторни одговор организма током физичке активности. Идентификација ових прагова омогућава боље разумевање аеробне способности, процену оптималних интензитета тренинга, као и праћење ефеката тренинга на кардиореспираторну функцију.

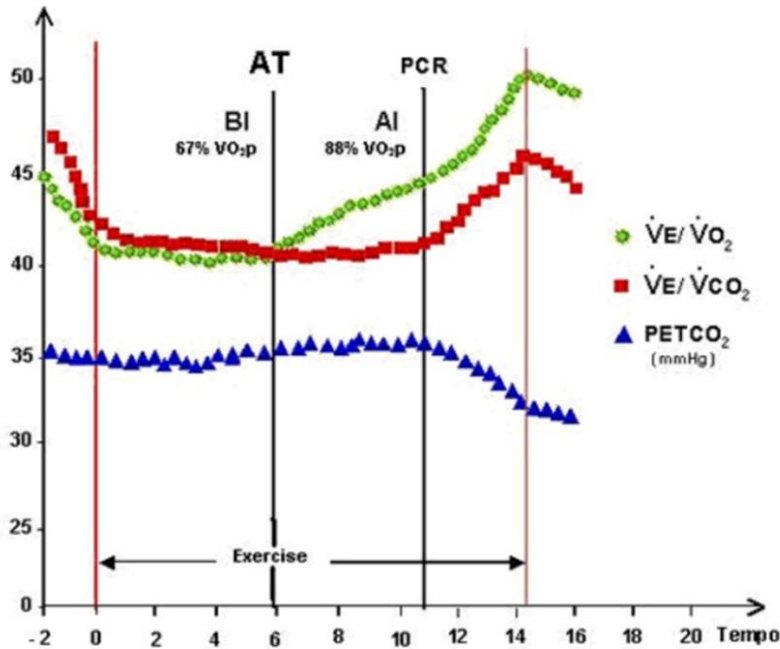


Слика 4: Утицај повећања лактата на размену гасова током прогресивног повећања напора.

### 1.3.3 Тачка респираторне компензације и њен значај за физиологију вежбања

Током теста оптерећења, тачка респираторне компензације (енг- Respiratory compensation point RCP) представља кључни индикатор који пружа дубљи увид у кардиореспираторни одговор организма на повећану физичку активност (слика 5). RCP се дефинише као тачка током теста оптерећења на којој долази до преласка са аеробног на анаеробни метаболизам, што се манифестује као појава респираторне ацидозе и повећање вентилаторне одговора без пратећег повећања у потрошњи кисеоника (VO<sub>2</sub>) (28).

Ова тачка често се означава као "критични праг" и може се идентификовати анализом промена у вентилаторним еквивалентима кисеоника (VE/VO<sub>2</sub>) и угљен-диоксида (VE/VCO<sub>2</sub>), као и респираторном коефицијенту (RQ). Значај RCP лежи у његовој способности да пружи информације о аеробном капацитету организма и границама његове вентилаторне адаптације током физичке активности.



Слика 5: Одређивање респираторног анаеробног прага ( $VT1$ ) и тачке респираторне компензације (RCP):  
Преузето од: Ferraz AS et al J Am Coll Cardiol. 2003;

Идентификација ове тачке омогућава боље разумевање кардиореспираторних механизма, процену ефикасности аеробног метаболизма, као и праћење физиолошког одговора на различите интензитете тренинга. Према Jamnick et. Al 2020. (29), показало се да се RCP може поуздано идентификовати током тестова оптерећења коришћењем различитих метода, укључујући анализу гасова издах, електрокардиографију и мерење лактата у крви. Ови параметри омогућавају прецизно одређивање тачке на којој организам прелази са аеробног на анаеробни метаболизам и пружају информације о максималној аеробној способности појединца.

У практичном смислу, RCP се често користи у спортском тренингу и медицини ради процене индивидуалног аеробног капацитета, оптимизације тренинга и праћења напретка током рехабилитације. Идентификација ове тачке омогућава персонализован приступ тренингу и постављање циљева који су специфични за сваког појединца.

### 1.3.4 Тачка респираторне размене RER

Респираторна размена је есенцијални процес у организму који омогућава унос кисеоника и елиминацију угљен-диоксида ( $CO_2$ ) путем дисања. Тачка респираторне размене (енг -Respiratory exchange ratio RER) или респираторни однос је однос између количине угљен диоксида која се издише и количине кисеоника која се удише током физичке активности (30).

Ова вредност је важна јер пружа увид у енергетски метаболизам који се користи током вежбања. Током лагане до умерене аеробне активности, RER је обично нижи, што указује да организам користи углавном масне киселине као извор енергије.

Међутим, како интензитет вежбања расте, RER се повећава, што указује на повећану употребу угљених хидрата као примарног извора енергије, јер је анаеробни метаболизам гликогена доминантан. RER се израчунава као однос волумена издахнутог CO<sub>2</sub> према волумену унетог кисеоника (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>). Вредности RER-а се крећу од 0,7 (што указује на претежну употребу масти као извора енергије) до 1,0 или више (што указује на претежну употребу угљених хидрата као извора енергије).

RER може бити корисно средство за процену аеробне и анаеробне способности, као и за праћење ефикасности тренинга (31). На пример, повећање RER-а током вежбања може указивати на побољшану аеробну способност, док константно високе вредности RER-а могу указивати на потребу за прилагођавањем тренинга ради побољшања ефикасности енергетског метаболизма (32).

#### 1.4. Функционалне способности у спорту и максимална потрошња кисеоника

Функционалне способности имају веома важну улогу у спорту и спортским активностима. Генерално ове способности се могу поделити на аеробну и анаеробну способност. Аеробне способности упућују на то да се сва физичка активност одвија уз присуство кисеоника, док анаеробне способности представљају зону интензитета физичке активности у којој се кисеоник не користи за стварање енергије за мишићни рад. С обзиром на то да ниједан спорт није искључиво аеробан или анаеробан, потребно је адекватно развијати обе способности да би се остварио максимални спортски резултат.

##### 1.4.1 Аеробна способност

Мера аеробне способности организма изражена је кроз максималну потрошњу кисеоника (eng - maximal oxygen consumption Vo<sub>2</sub> max). Максимална потрошња кисеоника представља максималну количину кисеоника коју појединац може апсорбовати, транспортовати и искористити током интензивног физичког напора.

Овај параметар се често користи као мера кардиореспираторног фитнеса и представља кључни индикатор аеробне способности организма. VO<sub>2</sub> max се изражава у милилитрима кисеоника потрошених у минути по килограму телесне тежине (мл/кг/мин).

Значај VO<sub>2</sub> max-а за општу популацију је вишеструк и обухвата многе аспекте физичког здравља и перформанси (33). Висок VO<sub>2</sub> max је повезан са смањеним ризиком од кардиоваскуларних болести, метаболичких поремећаја као што су дијабетес и гојазност, као и са бољом регулацијом крвног притиска и холестерола. Такође, већи VO<sub>2</sub> max је повезан са побољшаном менталном оштрином, смањењем стреса и анксиозности, као и са бољим квалитетом сна. Редовно вежбање и побољшање максималне потрошње кисеоника могу значајно допринети општем здрављу и квалитету живота. Аеробне вежбе попут трчања, пливања, вожње бицикла и брзог ходања могу повећати VO<sub>2</sub> max и побољшати кардиоваскуларно здравље (34).

Индивидуализовани програми вежбања који укључују комбинацију кардио тренинга, отпорности и флексибилности могу резултирати значајним побољшањем VO<sub>2</sub> max-а код различитих популација, без обзира на старост или тренутни ниво фитнеса (35) Кроз призму истраживања, VO<sub>2</sub> max се често користи као маркер ефикасности интервенција у домену физичког вежбања, као и у процени кардиоваскуларног ризика код различитих популација (слика 6).

VO2 MAX AND SURVIVAL		
VO2 max (percentile score)	10-Year Survival Rate*	Risk of death from any cause
Top 2%	97%	↓80%
Top 25%	96%	↓76%
Top 50%	93.5%	↓64%
Lower 50%	91%	↓49%
Bottom 25%	77%	Highest risk

\*Ten-year survival measured from middle age (50s).  
Based on fitness testing and long-term follow up of over 120,000 people!

Source: Mandsager, Harb, Cremer et al 2018.

**Слика 6:** Побољшање физичке способности може значајно повећати стопу преживљавања за 10 година, посебно у средњим годинама. Извор: Mandsager K, Harb S, Cremer P et. ал 2018

Осим тога, VO2 мах се користи и у спортској медицини ради праћења напретка спортиста, идентификације потенцијалних талената и оптимизације спортских перформанси. Професионални спортисти често имају изузетно високу VO2 мах вредност, што им омогућава да остваре врхунске спортске резултате (36). Висок VO2 мах је повезан са већим капацитетом издржљивости, бржим опоравком, бољом способношћу прилагођавања на промене и бољом регулацијом срчаног ритма током напорних вежбања.

Спортисти који се такмиче у издржљивостним спортовима, попут трчања, бициклизма или пливања, често раде на побољшању своје VO2 мах вредности како би унапредили своје спортске перформансе (37,38).

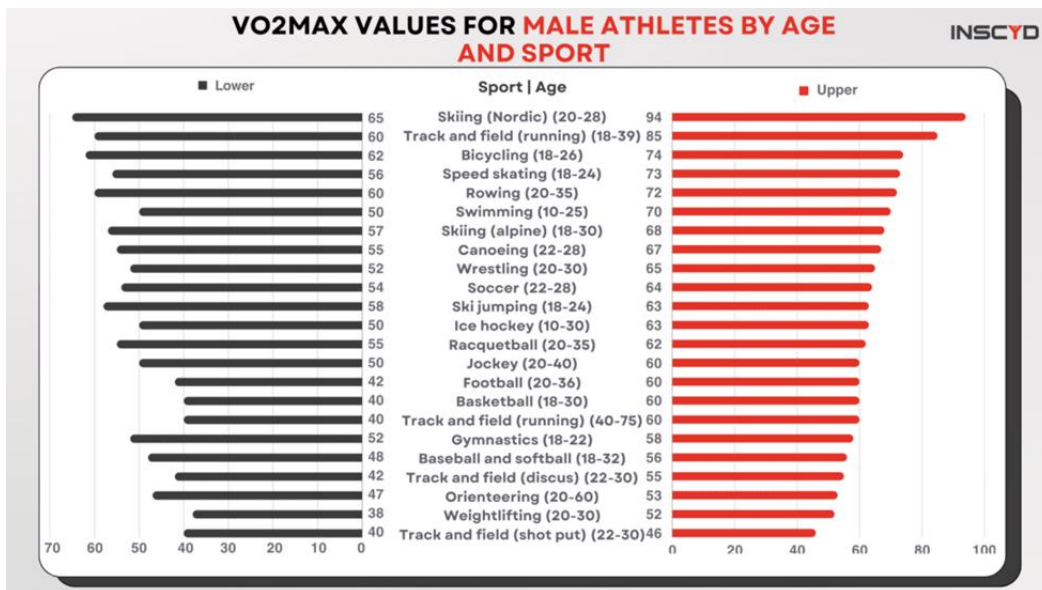
Истовремено, VO2 мах такође има велики значај за рекреативне спортисте и људе који се баве физичком активношћу ради очувања здравља. Побољшање аеробне способности, мерено кроз повећање максималне потрошње кисеоника, повезано је са смањеним ризиком од кардиоваскуларних болести, дијабетеса типа 2, хипертензије и гојазности. Повећање максималне потрошње кисеоника такође може побољшати општи осећај добробити, енергију и ментално здравље, чинећи свакодневне активности лакшим и пријатнијим (39).

За мерење потрошње кисеоника користе се специфични тестови оптерећења на траци за трчање (тредмил) или бициклоергометар, који симулирају интензиван физички напор док се прати потрошња кисеоника и срчана фреквенција (слика 7). Ови тестови омогућавају прецизно одређивање VO2 мах вредности и пружају корисне информације о тренутном нивоу физичке кондиције појединца.



Слика 7: Тест оптерећења на траци за процену Максималне потрошње кисеоника ( $VO_{2max}$ ):  
Фотографија аутора

У професионалном спорту максимална потрошња кисеоника игра кључну улогу у спортској издржљивости и перформансама, а разлике у њеним вредностима могу се приметити између различитих група спортиста (Слика 8). Чињеница је да спортисти типа издржљивости бициклсти, маратонци, веслачи, крос кантри скијаши, имају бољу потрошњу кисеоника у односу на друге спортисте из индивидуалних и екипних спортова.



Слика 8: Вредности максималне потрошње кисеоника по спортовима. Извор: inscyd.com

Истовремено у екипним спортовима као што су професионална кошарка и фудбал постоје разлике у максималној потрошњи кисеоника. Ови спортисти захтевају висок ниво аеробне али и анаеробне способности како би се носили са захтевима својих спортова, али природа и захтеви самих спортова могу довести до различитих нивоа  $VO_2$  мах.

Када су у питању професионални кошаркаши,  $VO_2$  мах се често сматра кључним показатељем њихове аеробне издржљивости. Студије су показале да кошаркаши често имају високе вредности  $VO_2$  мах-а, што је последица комбинације фактора као што су интензивни интервали брзог трчања, скакања и брзе промене правца кретања током утакмица.

Ови захтеви захтевају висок ниво аеробне издржљивости како би се одржала висока енергетска потрошња током дужих периода игре (40). Чињеница је да, професионални кошаркаши, иако се не ослањају толико на континуирану аеробну активност као фудбалери, показују високе вредности  $VO_2$  мах-а.

Студије су идентификовале просечне  $VO_2$  мах вредности код кошаркаша у опсегу од 50-55 мл/кг/мин, са најбољим играчима који могу имати вредности и до 58 мл/кг/мин (41,42,43). Ова висока аеробна способност код кошаркаша омогућава им да се брзо крећу по терену, ефикасно се опорављају између напора и издрже захтевне утакмице. С друге стране, професионални фудбалери захтевају висок ниво аеробне способности, али су захтеви њиховог спорта нешто другачији у поређењу са кошаркашима (44). Фудбал је континуирана активност која захтева дуготрајну издржљивост, али са периодима интензивних спринтева и брзих промена ритма. Овај начин игре доводи до потребе за вишим вредности  $VO_2$  мах-а у поређењу са кошаркашима.

Досадашња истраживања су показала да професионални фудбалери имају просечну  $VO_2$  мах вредност од 55-70 мл/кг/мин, при чему врхунски фудбалери могу достићи и преко 70 мл/кг/мин (45,46,47). Ови високи нивои  $VO_2$  мах-а одражавају потребу за издржљивошћу и аеробним капацитетом у фудбалу, који захтева континуирану физичку активност током дужег временског периода са периодима високог интензитета. Разлике у  $VO_2$  мах-у између ова два спорта могу бити последица специфичних захтева игре, као и индивидуалних генетских предиспозиција и тренинга спортиста.

Док су фудбалери можда више фокусирани на континуирану издржљивост и трчање, кошаркаши се можда више ослањају на експлозивност и брзе промене ритма. Међутим, важно је напоменути да индивидуалне разлике међу спортистима могу бити значајне и да се не може генерализовати да ће сви кошаркаши имати ниже  $VO_2$  мах вредности од свих фудбалера или обрнуто. Разлике могу бити последица различитих генетских предиспозиција, нивоа такмичња, индивидуалних тренинг програма и специфичних захтева сваког спорта и позиција у игри (49).

#### 1.4.2 Анаеробна способност

Осим аеробних способности у спорту су од превасходног значаја и анаеробне способности јер се сама спортска игра или такмичење одиграва у анаеробним условима, односно у условима који не захтевају присуство кисеоника за обезбеђивање енергије.

Анаеробне способности организма представљају важан аспект у спорту, посебно у играма као што су кошарка и фудбал. Ове способности су од суштинског значаја за извођење кратких, експлозивних активности које захтевају брзину, снагу и издржљивост у моментима када кисик није доступан у довољним количинама (49). У кошарци, анаеробне способности су од кључног значаја за извођење брзих прелаза са одбране на напад, скокање у висину и брзе промене правца кретања.

Исто тако, у фудбалу, ове способности су од суштинског значаја за играче током изведбе брзих трчања, скокова и брзих додавања (48,50). Тренинг који је усмерен на побољшање анаеробних способности укључује различите методе, укључујући интервални тренинг, експлозивне вежбе и вежбе снаге. Ове методе тренинга могу повећати капацитет анаеробног метаболизма и убрзати реакције играча у брзим и експлозивним ситуацијама на терену (51). Спортисти током игре спроводе наизменично фазе веома високо интензивног анаеробног рада и фазе аеробног рада нижег интензитета или паузе. Из свега тога произилази да осим аеробне способности, која је потребна да би се током пауза између трчања, скокова, играња одбране итд.. играч опоравио, неопходна је и добра анаеробна способност.

Када се каже анаеробна способност првенствено се то односно на способност толеренације накупљених продуката анаеробног рада (лактата). Када концентрација лактата достигне ниво на којем организам не може да их одстрани достиже се аеробни праг (енг. Aerobic treshold - АТ). У литератури се најчешће наводи ниво од око 2 mmol/L, а називи су различити у односу на ауторе и помињу се изрази „лактатни праг“ или „ први анаеробни праг (52). Ово подразумева да је ниво физичке активности толико висок да долази до преплитања аеробног и анаеробног метаболизма.

Када организам потроши пуферске резерве настаје период нестабилног лактадног стања, или у спорској литератури често помињано, достизање анаеробног прага, (енг. Anaerobic treshold - АНТ). Концентрација лактата на овом прагу је око 4 mmol/L(53). Изнад анаеробног прага организам енергију ствара у анаеробним условима без присуства кисеоника, а физичка активност је високоинтензивна и доводи до појаве замора и престанка вежбања. Организам помоћу респираторног система покушава да елиминира акумулирани угљен диоксид и тиме компензује насталу киселост организма. У функционалној дијагностици овај моменат се назива тачка респираторне размене гасова (енг. Respiratory exchange ratio RER).

При максималном напору вредности RER износе 1.10 и више што представља реалну меру постигнутог напора и способност организма да толерише повишене вредности лактата у мишићима и крви, као и вежбање у искључиво анаеробним условима, што представља високо утренирану особу (54).

### 1.5. Пандемија SARS-CoV-2 вируса

Пандемија вируса SARS-CoV-2 оставила је огромне последице по животе и здравље људи у целом свету (55). Вирус је створио велики здравствени проблем широм света, а најчешћи симптоми који су првобитно пријављени били су респираторни и кардиоваскуларни (56); али се касније показало да је инфекција SARS-CoV-2 мултисистемска болест. Клиничка слика SARS-CoV-2 варира од благих до тешких симптома, са респираторним симптомима као најчешћим манифестацијама болести.

Међутим, вирус може изазвати и широк спектар компликација које укључују акутни респираторни дистрес синдром (енг - Acute Respiratory Distress Syndrome -ARDS), плућну емболију, акутно затајење бубрега, миокардитис, мождани удар и мултиорганско затајење (57) Студије су такође показале да SARS-CoV-2 може изазвати дуготрајне симптоме, познате као "продужени Ковид" (енг Long Covid syndrome) (58).

Компликације SARS-CoV-2 су посебно изражене код особа са одређеним факторима ризика, укључујући старије особе, особе са хроничним медицинским стањима попут дијабетеса, кардиоваскуларних болести или обољења дисајних путева, као и особе са ослабљеним имунолошким системом (59).

Међутим, касније током пандемије се испоставило да су и здраве особе старије од 18 година, без хроничних болести и без обзира на узраст, склоне инфекцији и тежим клиничким сликама услед патогености SARS-CoV-2 вируса. Током саме пандемије која је трајала од 2020. до почетка 2023. године забележено је неколико мутација и подваријанти (сојева) вируса. Али, прве и основне варијанте које су забележене биле су Вухан (енг- Wuhan) Делта (енг- Delta) и Омикрон (енг - Omicron) које су биле доминантне доком пандемије од 2020. до 2023. године (60,61).

### 1.5.1 Утицај пандемије SARS-CoV-2 на спорт и спортску популацију

Истовремено са инфекцијом целокупног становништва земље и спортска популација, била је, можда и више изложена дејству вируса, јер су спортисти константно били у непосредном контакту током такмичења и тренинга. Од почетка 2020. године, пандемија SARS-CoV-2 вируса променила је целокупну организацију свих спортских догађаја, укључујући и саме тренинге, посебно када је у питању професионални спорт (62). После периода двомесечне кућне изолације 2020. године, спортисти су се враћали тренинзима и такмичењима, али под другачијим околностима, у затвореним балонима и уз константно тестирање полимеразне ланчане реакције (енг -Polymerase Chain Reaction -PCR) на вирус. Сам карантин је оставио трага на њиховој кондицији јер, осим код куће, нису имали прилику да тренирају или да се такмиче (63).

С обзиром на то да спортисти припадају младој и здравој популацији, на почетку пандемије препоруке за повратак спортским активностима укључивале су само физикални преглед и електрокардиограм ЕКГ (енг- Electrocardiogram ECG) у мировању, уз основне лабораторијске анализе, након најмање четрнаест дана од кућна изолација (64,65).

Временом је постало јасно да чак и млади, здрави и физички активни појединци могу завршити са клинички озбиљним симптомима и облицима болести опасним по живот. Чести случајеви миокардитиса, перикардитиса, нетолеранције на оптерећење и диспнеје при напору, чак и након блажих облика инфекције, указивали су на потребу за детаљнијим дијагностичким процедурама, као што су обимније лабораторијске анализе (инфламаторни и срчани биомаркери), ехокардиографија и ергоспирометријско тестирање (66-69).

Детаљнији лекарски прегледи били су неопходни да би се сачувало здравље спортисте и избегла могућност изненадне срчане смрти. Од почетка пандемије у марту 2020. Године, вирус SARS-CoV-2 је мутирао током времена, што је резултирало генетским варијацијама у популацији циркулирајућих вирусних сојева. Спортисти су због природе свог посла били изложенији инфекцијама мутираних сојева, јер су константно били у блиским међусобним контактима током тренинга и утакмица. Показало се да ове мутације могу утицати на пренос вируса или на озбиљност симптома код инфицираних особа (70).

Према званичним подацима Националног тела за инфективне болести, у периоду од 2020. До 2022. Године у Србији су забележена три доминантна соја вируса SARS-CoV-2: Вухан, Делта и Омикрон (енг -Wuhan, Delta, Omicron) (71).

Научна истраживања на тему различитих сојева вируса првенствено се заснивају на утицају мутација у вирусу SARS-CoV-2 на вирусну вирулентност и патогеност (72,73). Истовремено, поједине студије су истраживале ефекте вакцине против нових варијанти вируса међу обичним људима (74,75).

Код спортске популације, најновије студије указују на пад функционалних способности након инфекције SARS-CoV-2, уз повећане респираторне и метаболичке захтеве (76,77,78). Штавише, пријављени су различити облици инфламаторних болести срца (миокардитис и перикардитис), смањени капацитет плућа и аеробне издржљивости као резултат инфекције SARS-CoV-2 (67,79,80,81,82). Истовремено, није било истраживања која су се бавила разликама у утицају на функцију организма код спортиста и људи који су изложени различитим сојевима вируса.

### 1.5.2 Вакцинација спортиста против SARS-CoV-2 у Србији

Превенција инфективних и заразних болести код професионалих спортиста важан је аспект медицинске бриге у свим спортским организацијама. Једна од битних превентивних мера, поред личне хигијене и избегавања блиских контаката, је и вакцинација (83,84). Током пандемије SARS-CoV-2 инфекције развијено је више варијанти вакцина различитих произвођача. Компаније попут Фајзера и Модерне (енг- Pfizer and Moderna) развили вакцине које кодирају спајк протеин SARS-CoV-2 (енг - mRNA vaccines), док су друге компаније (Johnson and Johnson, Sputnik i Sinopharm) развили вакцину базирану на аденовирусном вектору. Безбедност ових вакцина је показана у великој групи учесника у клиничким испитивањима, као и у општој популацији, од када је хитно одобрена употреба вакцина у САД-у (85).

Спортисти у свом послу имају већу изложеност блиским контактима са другим спортистима, члановима тимова, па су самим тим и више изложени трансмисији разних вируса. Такође, напоран тренинг уз мало одмора, психолошки и физички стрес, неадекватна исхрана, може да доведе до пада имунитета код спортиста. Вакцинација као примарна мера заштите се показала као најбоље решење заштите спортиста од сезонских вируса и осталих инфекција, али и као важна за побољшање имунитета организма (74,86).

Међутим, на почетку пандемије SARS-CoV-2 инфекције није било вакцине, па су спортисти били изложени вирусу незаштићени. Инфекција је оставила велике последице на функционалне способности и здравље спортиста генерално (87,88), а процењено је да је SARS-CoV-2 по дејству мултисистемска болест (89). Тек почетком 2021. године као примарна мера заштите од инфекције уведене су вакцине против SARS-CoV-2 (90).

Иако су многи спортисти оклевали да приме вакцину за SARS-CoV-2, плашећи се негативних ефеката вакцинације на здравље и физичке перформансе, показало се да је мало вероватно да ће вакцина нарушити способност вежбања код здравих особа, али да код елитних спортиста постоје само минимална одступања (91). Надаље се показало да захваљујући вакцинацији спортисти могу да имају мањи број пропуштених тренинга због SARS-CoV-2 инфекције него када нису вакцинисани (92).

У Србији вакцинација спортиста је постала доступна тек од априла 2021, тако да су сви спортисти пре тог периода (март 2020 – март 2021) невакцинисани изложени инфекцији SARS-CoV-2. На почетку вакцинације доступне вакцине за све су биле (Pfizer BioNtech, Sinopharm, Sputnik V и Astra Zeneca) (93,94). Сваки спортиста је имао право да сам одлучи коју вакцину жели да прими.

Тренутно недостају научна истраживања о утицају одређених сојева SARS-CoV-2 на тежину инфекције, клиничке симптоме и развој кардиореспираторних и других облика болести, како у општој популацији тако и код спортиста. Иако је сада познато да инфекција SARS-CoV-2 може нарушити здравље и спортске перформансе спортиста, остаје нејасно у којој мери различити сојеви коронавируса утичу на њихову функционалну способност. Поставља се питање да ли различите варијанте вируса утичу на кардиореспираторну кондицију спортиста на исти начин или потенцијал вируса да наруши ове способности полако слаби како се пандемија наставља.

Истовремено, досадашња истраживања у вези са вакцинацијом спортиста су лимитирана и углавном су се бавила утицајем саме вакцине на здравље и физичке перформансе спортиста.

Досадашње студије показале су да је наставак бављења спортом након вакцинације против SARS-CoV-2 прикладан и да вежбање у периоду након вакцинације може побољшати имуни одговор (95,96,97). Такође приказано је да је само 24% спортиста након потпуне вакцинације пријавило негативан утицај на физичке перформансе у виду малаксалости, температуре у трајању од три дана (98,99). За сада није објављена ниједна слична студија која се бавила конкретно утицајем различитих сојева SARS-CoV-2 инфекције на функционалне способности спортиста.

Истовремено није било студија које су процењивале функционалне способности вакцинисаних у односу на невакцинисане спортисте након излагања вирусу SARS-CoV-2.

## **2.ЦИЉЕВИ И ХИПОТЕЗЕ**

Узимајући у обзир све наведено, циљ овог истраживања био је да се процени утицај различитих сојева SARS-CoV-2 инфекције на функционални капацитет професионалних спортиста током пандемије која је трајала три године. Надаље, циљ студије је да утврди да како је вакцинација утицала на дејство вируса и да ли је постојала интеракција између соја и вакцине. Истовремено циљ је био да се процени да ли су вакцинисани спортисти имали мањи пад функционалних способности у односу на спортисте који нису били вакцинисани.

## **2.1 Главни циљеви истраживања**

Главни циљ овог истраживања је утврђивање утицаја инфекције различитим сојевима вируса SARS-CoV-2 на функционалне способности вакцинисаних и невакцинисаних професионалних спортиста.

### **2.1.1 Специфични циљеви истраживања:**

1. Испитати да ли постоје разлике у аеробним способностима између група спортиста инфицираних различитим сојевима вируса SARS-CoV-2
2. Испитати да ли постоје разлике у анаеробним способностима између група спортиста инфицираних различитим сојевима вируса SARS-CoV-2
3. Испитати да ли постоје разлике у одговору срчане фреквенце међу групама спортиста инфицираних различитим сојевима вируса SARS-CoV-2
4. Утврдити да ли постоје разлике у функционалним способностима вакцинисаних и невакцинисаних спортиста
5. Утврдити да ли постоје разлике у функционалним способностима испитаника у различитим спортовима инфицираних различитим сојевима вируса SARS-CoV-2.

## **2.2 Хипотезе истраживања**

### **2.2.1 Главне хипотезе**

$H^0$  Неће постојати разлике у функционалним способностима код спортиста инфицираних различитим сојевима SARS-CoV-2 вируса.

$H^1$  Постојаће разлика у функционалним способностима професионалних спортиста инфицираних различитим сојевима SARS-CoV-2 вируса.

### **2.2.2 Помоћне хипотезе**

1. Постојаће разлика у параметрима аеробних способности код спортиста инфицираних различитим сојевима вируса SARS-CoV-2
2. Постојаће разлика у параметрима анаеробних способности код спортиста инфицираних различитим сојевима вируса SARS-CoV-2
3. Постојаће разлика у функционалним способностима код инфекције SARS-CoV-2 вируса између вакцинисаних и невакцинисаних спортиста

# **3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ**

### 3.1 Врста студије

Тип студије према коме је спроведено истраживање је ретроспективна кохортна студија евалуације резултата тестирања спортиста који су били инфицирани различитим сојевима SARS-CoV-2 вируса од 2020. до 2022. године.

### 3.2 Учесници и дизајн студије

У овом истраживању учествовало је двеста двадесет ( $n=220$ ) професионалних спортиста из Србије, међународног нивоа, према критеријумима McKay et al. (100). У студију је било укључено 112 фудбалера (узраст 23,05+4,64), из 5 професионалних сениорских српских тимова (Суперлига Србије; УЕФА Лига Европе) и 108 кошаркаша (узраст 24,52+4,80), из 6 професионалних српских тимова (Евролига и АБА лига). Истраживање је спроведено у периоду од септембра 2020. до октобра 2022. године. Критеријуми за укључивање у студију били су прележала инфекција SARS-CoV-2 која је потврђена тестом ланчане реакције полимеразом (PCR).

Постојале су две индикације за спровођење PCR тестова. Прва индикација за извођење теста се односила на све спортисте који су имали јасне симптоме инфекције, док се друга индикација односила на обавезно тестирање спортиста пре сваке званичне утакмице по предлозима домаћих и европских такмичења. Центар за секвенцирање генома Института за молекуларну генетику и генетичко инжењерство Србије спровео је секвенцирање генома коронавируса у циљу идентификације нових сојева коронавируса.

Секвенцирање генома је спроведено када се посумњало на нови сој и настављено до тачке када је било јасно да се појавила доминација нове варијанте вируса. Сходно томе, испитаници су подељени у три групе у зависности од периода пандемије током којег су били заражени SARS-CoV-2 и доминације једног од три соја вируса у том временском интервалу (Вухан, Делта или Омикрон сој).

Током узимања основне анамнезе, прикупљени су подаци о статусу вакцинације за сваког појединца уз приложену потврду о вакцинацији. Укупан број вакцинисаних спортиста износио је 119, док је број невакцинисаних спортиста износио 101. Спортисти су имали слободу избора 4 вакцина које су биле доступне у Србији (Pfizer-BioNTech, Sinopharm, SputnikV и Astra Zeneca). Сва тестирања су спроведена у ординацији спортске медицине „Вита Максима“ из Београда у наведеном периоду од две године (2020- 2022.год). Након узете анамнезе, утврђено је да су спортисти били вакцинисани са две дозе и три различита типа вакцине Sinopharm  $n=51$ , Pfizer-BioNTech  $n=37$  Astra Zeneca  $n=31$ .

Сви учесници студије су пријавили асимптоматски или благи до умерени облик инфекције. Спортисти са симптоматским тегобама углавном су пријавили грозницу, благу температуру, кракама, слабост, главобољу, агеузију и аносмију. Нико од испитаника није хоспитализован. Лечени су код куће и изоловани 14 дана колико је била прописана минимална изолација након инфекције од државног националног тела за инфективне болести.

### Етички кодекс

Истраживање је одобрила етичка комисија Универзитета Сингидунум (Одлука број: 1211), а обезбеђен је и писани пристанак испитаника уз очување свих права приватности. Поступање са испитаницима је одвијано у складу са начелима етичности (Хелсиншка декларација 2013) и принципима добре клиничке праксе

### 3.3. Узорковање

Прву групу учесника у истраживању чинили су спортисти који су били заражени вирусом SARS-CoV-2 у периоду од септембра 2020. до јула 2021. године (n=88 -од тог броја било је фудбалера n=46, а кошарка n=42). Секвенцирање генома на почетку овог периода указало је на доминацију соја Вухан. Ова група испитаника није била вакцинисана.

Друга група спортиста су били субјекти за које се сматра да су били претежно инфицирани Делта сојем (n=66 – од тог броја фудбалера је било n=32, док је кошаркаша било n=34). Ови учесници су имали PCR позитиван тест у периоду од августа 2021. до јануара 2022. Код ове групе 13 испитаника је било невакцинисано а осталих 53 су били вакцинисани са две дозе вакцине.

Трећу истраживачку групу чинили су спортисти тестирани од фебруара 2022. до октобра 2022. (n=66- а од тог броја фудбалера је било 34, док је кошаркаша било 32). Секвенцирањем генома вируса у овом периоду пандемије, закључено је да је сој Омикрон доминантан. Сви испитаници су били вакцинисани са две дозе вакцине.

### 3.4. Критеријуми за укључење у студију:

- 1) Старосна доб од 18 – 35 година;
- 2) Такмичари који се баве спортом 6 година и дуже
- 3) Професионални спортисти са више од 10 сати тренинга недељно
- 4) Професионални спортисти који последњих 12 месеци нису имали период тренажне паузе и мировања који је био узрокован повредом или неким другим фактором.
- 5) Професионални спортисти са позитивним PCR тестом на SARS-CoV-2 вирус уз секвенционирање генома вируса, и периодом детренинга од 14 дана.

### 3.5. Критеријуми за искључење из студије

1. Спортисти млађи од 18 година
2. Спортисти који су били повређени и нису били у тренажном процесу у последњих 12 месеци пре инфекције
3. Спортисти који су имали продужене последице вируса и након 14 дана изолације и захтевали су додатну медицинску дијагностику (магнет срца, електрофизиолошки преглед
4. Спортисти који су имали реинфекцију SARS -CoV 2 вируса

### 3.6. Прикупљање података

Након престанка симптома SARS-CoV-2 инфекције и/или негативног контролног PCR теста, учесници студије су подвргнути лекарским прегледима у циљу доношења одлуке о могућности повратка спортским активностима.

Основни спортски преглед обухватао је: антропометријске карактеристике, одређивање телесне висине (ТВ) помоћу Сека Висинометар 1цм), процену комплетног састава тела, телесна маса (ТМ), индекс телесне масе (Body mass index -BMI), проценат масноће у телу (Fat%) (Tanita BC 418 MA) Лекарски преглед је обухватао физикални преглед, који је подразумевао аускултацију срца и плућа и мерење крвног притиска.

Поред основног прегледа, урађене су и лабораторијске анализе у акредитованој лабораторији Аква Лаб Београд (Aqua lab) са циљем процене инфламаторних и срчаних биомаркера.

Уз лабораторијске анализе, урађена је трансторакална 2D ехокардиографија (Mindray MX7 Digital Ultrasound System China) како би се уверили да не постоји акутни инфламаторни процес и/или основни мио/перикардитис као апсолутне контраиндикације за извођење кардиопулмоналног теста оптерећења (СПЕТ), који је уједно и био последњи лекарски преглед пре него што се донесе одлука о повратку спортисте у игру.

### 3.7. Протокол кардиопулмоналног теста оптерећења

СПЕТ, као тест максималног физичког оптерећења, урађен је у циљу процене здравственог стања и функционалног капацитета спортиста. Тестирање максималног оптерећења обављено је на траци за трчање. Испитаници су били опремљени маском за лице, монитором откуцаја срца (COS-MED Wireless XR Monitor, Rim, Italija) и преносивим ЕКГ уређајем (Quarck T 12x, Wireless 12-lead ECG, Rome, Italy) за обављање теста. Према протоколу за професионалне спортисте, почетна брзина и нагиб су постављени на 6 km/h и 3°, респективно. Сваких 40 секунди брзина траке за трчање се повећавала за 1 km/h, док је нагиб остао константан током теста.

Кинетика потрошње кисеоника мерена је континуирано коришћењем технике анализе дах по дах (Quark SPET system and Omnia software manufactured by Cosmed, Rome, Italy). Пулс је праћен преносним ЕКГ апаратом. Тест се сматра максималним ако су учесници постигли: 90% или више предвиђеног максималног откуцаја срца за узраст и пол (220 – старост), плато у потрошњи кисеоника упркос повећаном оптерећењу (плато < 150 mlO<sub>2</sub>/мин) и респираторну размену однос  $\geq 1,20$ , заједно са достигнутом вољном исцрпљеношћу. Све тестове су извршили квалификовани лекари, а опрема за тестирање је рутински калибрисана и запремином и калибрацијом гаса пре сваке процедуре тестирања.

Током теста праћене су функционалне способности изражене кроз варијабле: Vo<sub>2</sub>max – максимална потрошња кисеоника (Аеробна способност), VO<sub>2</sub> на VAT – потрошња кисеоника на првом анаеробном/вентилаторном прагу као мера аеробне ефикасности, VE/VCO<sub>2</sub> (вентилаторна ефикасност), RER (respiratory exchange ratio) као мера анаеробног замора, HR на VAT- срчана фреквенција на првом анаеробном/вентилаторном прагу, HR на RCP (Respiratory compensation point), срчана фреквенција другом анаеробном/вентилаторном прагу, HR Max, максимална срчана фреквенција, O<sub>2</sub>/hr – кисеонички пулс, као индиректна мера рада леве коморе срца, HR rest 1, 2, 3 мин - опоравак срчане фреквенције током три минута.

### 3.8 Електрокардиографско праћење и респираторна функција

Континуирано ЕКГ праћење са 12-одводним Стрес ЕКГ-ом урађено је ради откривања могућих поремећаја срчаног ритма и проводљивости, као и промена СТ- сегмента.

Исти уређај је коришћен за мерење максималног пулса и процену троминутног опоравка откуцаја срца након теста максималне исцрпљености (Слика 9). Пулс кисеоника ( $O_2/Hr$ ), као индиректни индикатор функције леве коморе (волумен кисеоника избаченог из комора при свакој срчаној контракцији), мерен је и процењен помоћу Вассерман 9-Панел Плот (Wasserman nine panel plot).

Поред процене максималне вредности пулса кисеоника на крају теста, све време је праћена кинетика  $O_2/hr$  криве током СРЕТ-а са циљем да се процени контрактилност леве коморе у смислу сусрета. метаболичке потребе тела за кисеоником. Са повећањем срчане фреквенције и интензитетом напора, очекивао се експоненцијални раст криве  $O_2/hr$  као нормалан одговор током теста. Плато раста криве је настао у завршним фазама СРЕТ-а, при максималном интензитету.



**Слика 9.** Континуирано праћење ЕКГ-а са бежичним 12-одводним Стрес ЕКГ-ом током СРЕТ-а и троминутног опоравка.

Wasserman 9-Panel plot је коришћен за праћење одговора вентилационих еквивалената за кисеоник и угљен-диоксид током СРЕТ-а ( $VE/VO_2$  и  $VE/VCO_2$ ). Ефикасност вентилационе пумпе при различитим радним оптерећењима је континуирано процењивана коришћењем Панела 4. Wasserman nine panel plot (Слика 10).

Укупна вентилациона ефикасност је израчуната помоћу  $VE/VCO_2$  индекса коришћењем технике анализе удисаја уз дах на крају теста искључивањем тачака података након почетка максималне хипервентилације при максималном напору.  $VE/VCO_2$  нагиб, као однос између минутне вентилације и производње угљен-диоксида, обично је карактеристична карактеристика плућних васкуларних болести или нетолеранције на вежбање и инвалидитета.

Због тога је процењен од стране софтвера Омниа (Quark CPET system and Omnia software manufactured by Cosmed, Rome, Italy) за процену функције плућа и толеранције на вежбање.



Слика 10. Wasserman nine Panel plot . Панели дају преглед кардиоваскуларних, вентилационих и параметара размене гасова. Слика из лабораторије аутора.

### 3.9. Аеробни капацитет и метаболички одговор на напор

Максимална потрошња кисеоника ( $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ), као објективан и тачан показатељ кардиореспираторне кондиције и аеробне издржљивости, процењена је на крају CPET-а. Плато потрошње кисеоника је узет у обзир при одређивању коначне вредности  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  (слика 11). Потрошња кисеоника на првом вентилационом анаеробном прагу је добијена да би се проценила аеробна економичност, што је мера коришћења енергије при трчању аеробним интензитетом.



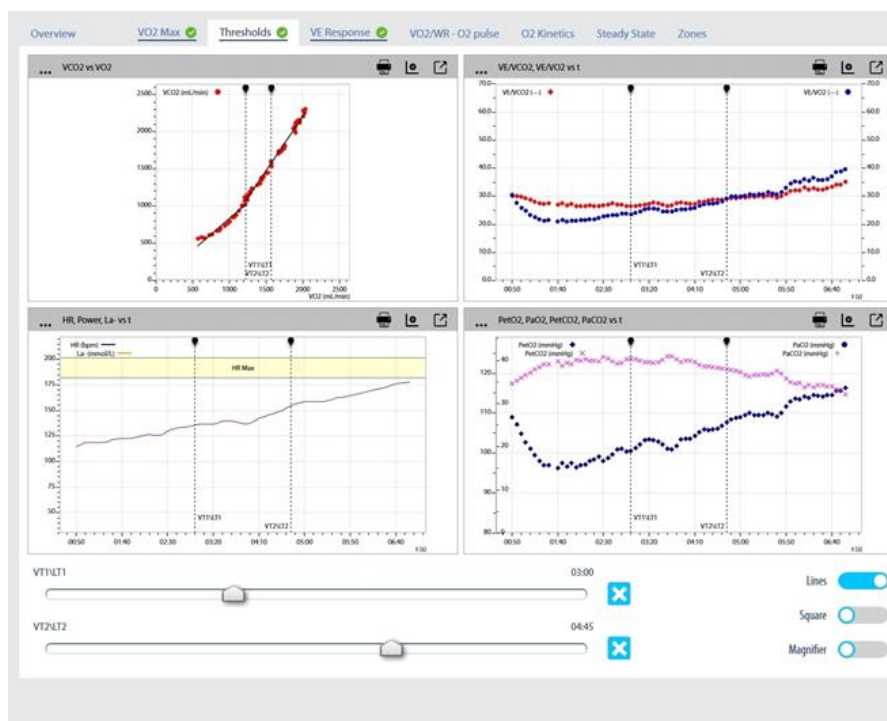
**Слика 11.** Плато потрошње кисеоника у завршним фазама СРЕТ-а. Промене у потрошњи кисеоника су < 150 мл O<sub>2</sub>/мин упркос повећаном обиму рада/вежбња.

Број откуцаја срца је добијен на првом вентилационом анаеробном прагу (VAT1) и другом вентилационом анаеробном прагу (или тачки респираторне компензације (RCP) да би се одредио интензитет напора при којем долази до преласка са аеробних на анаеробне изворе енергије. VAT2 или RCP су мерени коришћењем панела „прагова“ Wasserman nine panel plot-a, (панели на слици 12).

Метода V-нагиба и кинетика VE/VO<sub>2</sub> криве биле су методе избора за добијање VT1. Метода V-нагиба је коришћена за визуелно одређивање прве тачке поласка од линеарности излаза угљен-диоксида у односу на унос кисеоника (слика 12). Нагли и континуирани пораст вентилационог еквивалента кисеоника (VE/VO<sub>2</sub>) такође је био знак достизања првог прага.

Респираторни однос размене (RER), као количник метаболичке производње угљен-диоксида и узимања кисеоника (CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>) је коришћен за процену тачке RCP, односно другог вентилационог анаеробног прага. Почетак апсолутног анаеробног метаболизма одређен је мерењем срчане фреквенције при RER=1.

Штавише, истовремени нагли пораст вентилационих еквивалената за кисеоник и угљен-диоксид, као и нагли пад парцијалног притиска на крају плимe за угљен-диоксид (PetCO<sub>2</sub>) указује на достизање другог вентилационог прага. У овом тренутку, вентилациони захтеви за испоруку кисеоника до мишићних ћелија и уклањање угљен-диоксида у спољашњу средину су изузетно високи. Додатно, RER вредност је израчуната на крају теста (максимална вредност) да би се проценио метаболички одговор на максимални напор и ниво постигнутог анаеробног напора.



Слика 12. Панели од А – Д с лева на десно. Панел А - метода нагиба. Панел Б: вентилациони еквиваленти за кисеоник и угљен-диоксид. Панел Ц: откуцаји срца на VT1 и RCP. Панел Д: РетСО2 крива (љубичаста боја) која се користи за одређивање RCP-а.

### 3.10. Биохемијске анализе:

У прикупљеним узорцима крви одређиване су вредности С-реактивног протеина - CRP, D-dimer-a, NT-proBNP-а као и срчани тропонин високе осетљивости (hs-cTn). Коришћењем комерцијално доступних елиза китова одређене су вредности поменутих маркера од стране овлашћене лабораторије Aqua lab.

### 3.11. Ултрасонографска дијагностика:

Ултразвучни преглед срца спроведен је на апарату Mindray MX7 Digital Ultrasound System (China). Том приликом су праћени следећи параметри: Ејакциона фракција леве коморе, дебљина зидова леве и десне коморе, проток крви кроз артерије и вене.

### 3.12 Снага студије и величина узорка

Статистичком анализом а priori применом софтвера G\*Power 3.1.9.4 (Franz Faul, Germany) израчунато је да је минимална укупна величина узорка 64 испитаника (21 по групи). За прорачун је коришћена двофакторска Анова (2x3 factorial between subjects ANOVA) тест, уз претпоставку алфа грешке од 0,05 и снагу студије 0,80 (бета грешка 0,2). Величина ефекта одређена је на основу претходно публикованог истраживања сличне теме у којој је упоређиван утицај три соја SARS-CoV-2 инфекције на крвне параметре обичне популације (15). Статистичком анализом post hoc применом софтвера G\*Power 3.1.9.4 (Franz Faul, Germany) израчунато је да је снага студије 0.99 за укупну величину узорка од 220 испитаника који је планиран за истраживање.

### 3.13. Статистичка обрада података

Статистичка обрада података обављена је у статистичком пакету SPSS 22.0 за Windows. За тестирање нормалности дистрибуције користио се Колмогоров-Смирнов тест, док је хомогеност варијанси испитана Левеновим тестом. За опис параметара, у зависности од њихове природе, коришћени су следећи дескриптивни статистички показатељи: аритметичка средина, стандардна девијација, медијана (ранг) и 95% интервали поверења.

За испитивање интеракције два фактора вакцина/сој и утицаја на функционалне параметре између спортиста, примењена је двофакторска анализа варијансе (Two-way ANOVA) са факторима 2x3. За детекцију статистички значајних разлика између појединачних група (у односу на сој) коришћен је Tukey HSD post hoc тест. Додатно, утицај врсте спорта на функционалне способности је анализиран применом вишеструке линеарне регресије. Разлике су се сматрале значајним када је вредност P мања од 0,05.

# **4. РЕЗУЛТАТИ**

#### 4.1. Вредности параметара ултразвука срца испитаника пре почетка тестирања

У табели 1 приказани су резултати лекарског прегледа у мировању.

**Табела 1.** Просечне вредности срчане фреквенције, крвног притиска и ехокардиографских параметара у мировању, пре СРЕТ-а.

Варијабле	Wuhan ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	Delta ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	Omicron ( $\pm$ SD) $\bar{X}$
HR (bpm)	59.4 $\pm$ 11.60	57.72 $\pm$ 10.68	55.82 $\pm$ 10.65
SBP (ммХг)	117.8 $\pm$ 7.80	119.4 $\pm$ 8.26	116.5 $\pm$ 7.60
DBP (ммХг)	73.5 $\pm$ 8.10	74.4 $\pm$ 7.43	73.8 $\pm$ 7.68
РВд (мм)	24.1 $\pm$ 3.58	23.8 $\pm$ 3.81	24.3 $\pm$ 3.60
IVSd (мм)	10.1 $\pm$ 2.0	9.6 $\pm$ 1.89	10.4 $\pm$ 1.79
LVDd (мм)	51.4 $\pm$ 5.78	51.7 $\pm$ 5.81	52.1 $\pm$ 5.16
LVPVd (мм)	9.7 $\pm$ 1.50	9.8 $\pm$ 1.46	10.0 $\pm$ 1.56
LVSD (мм)	34.8 $\pm$ 4.72	35.1 $\pm$ 4.23	35.8 $\pm$ 4.18
EF (%)	60.7 $\pm$ 7.51	60.2 $\pm$ 6.65	61.8 $\pm$ 6.46

**Легенда:** SBP = систолни крвни притисак; DBP = дијастолни крвни притисак; RVd = крајњи дијастолни пречник десне коморе; IVS = дебљина крајње дијастоле интервентрикуларног септума; LVDd = крајњи дијастолни дијаметар леве коморе; LVPVd = енд-дијастолна дебљина задњег зида леве коморе; LVSD = крајњи систолни пречник леве коморе; EF = фракција избацивања. Резултати су представљени као средња вредност  $\pm$  стандардна девијација.

У табели 1 су представљени параметри ехокардиографског прегледа срца код професионалних спортиста подељених у три групе у зависности од инфекције SARS-CoV-2 вирусом различитих сојева (Wuhan, Delta, Omicron).

Сви параметри су у оквиру референтних вредности, што указује на одсуство значајних структурних или функционалних промена на срцу. Међутим, постоје одређене тенденције и разлике између група које могу бити од интереса.

#### 4.2. Вредности параметара лабораторијских анализа срчаних биомаркера испитаника пре почетка испитивања

У табели 2 приказани су резултати лабораторијских анализа срчаних биомаркера.

**Табела 2.** Инфламаторни и срчани биомаркери након инфекције SARS CoV-2

	<b>Wuhan</b> ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	<b>Delta</b> ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	<b>Omicron</b> ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	<b>Нормалан опсег</b>
<b>CRP (мг/Л)</b>	2.68 $\pm$ 1.20	2.72 $\pm$ 0.63	3.08 $\pm$ 1.05	0.00 -10.0
<b>D-dimer (мг/Л FEU)</b>	0.17 $\pm$ 0.80	0.22 $\pm$ 0.86	0.23 $\pm$ 0.60	< 0.50
<b>nt-pro BNP (нг/мЛ)</b>	16.54 $\pm$ 5.71	18.40 $\pm$ 4.43	17.21 $\pm$ 5.68	0 - 125
<b>xs-cTtT (μг/Л)</b>	4.30 $\pm$ 3.01	4.59 $\pm$ 1.89	4.42 $\pm$ 1.40	< 10

**Легенда:** CRP = С-реактивни протеин; nt-pro BNP = NT-про Б-тип Натриуретич Пептиде; (hs-cTtT) = срчани тропонин Т високе осетљивости. Резултати су представљени као средња вредност  $\pm$  стандардна девијација.

У табели 2 су приказани инфламаторни и срчани биомаркери код професионалних спортиста подељених у три групе у зависности од инфекције SARS-CoV-2 вирусом различитих сојева (Wuhan, Delta, Omicron). Сви резултати су у оквиру референтних вредности, што указује на одсуство значајних инфламаторних или срчаних оштећења. Међутим, постоје благе разлике између група.

### 4.3 Утицај инфекције различитим сојевима SARS CoV 2 вируса на функционалне способности вакцинисаних и невакцинисаних врхунских спортиста

У табели 3 приказани су вредности ефекта вакцинације и соја вируса као и интеракција сој/вакцина на функционалне параметре спортиста.

**Табела 3.** Величина ефеката вакцинационог статуса и соја вируса на параметре функционалне способности спортиста

Параметар	Фактор	M <sup>2</sup>	F	df	p	η <sup>2</sup>
VO2 max (мл/кг/мин)	Вакцинациони статус	214.39	10.19	1	0.002	0.045
	Сој вируса	61.84	2.94	2	0.055	0.027
	Вакцинациони статус*Сој вируса	9.49	0.45	1	0.503	0.002
VO2 на VAT1 (мл/кг/мин)	Вакцинациони статус	98.26	5.26	1	0.023	0.024
	Сој вируса	129.53	6.94	2	0.001	0.061
	Вакцинациони статус*Сој вируса	22.59	1.21	1	0.273	0.006
VE/VC02 нагиб	Вакцинациони статус	5.62	0.74	1	0.391	0.003
	Сој вируса	23.48	3.08	2	0.048	0.028
	Вакцинациони статус*Сој вируса	128.63	16.88	1	0.000	0.073
RER (CO2/O2)	Вакцинациони статус	0.01	2.64	1	0.105	0.012
	Сој вируса	0.01	2.11	2	0.123	0.019
	Вакцинациони статус*Сој вируса	0.00	0.54	1	0.465	0.002
O2/HR (мл/откуцај)	Вакцинациони статус	4.21	1.07	1	0.301	0.005
	Сој вируса	23.77	6.07	2	0.003	0.053
	Вакцинациони статус*Сој вируса	4.66	1.19	1	0.276	0.006
HR на VT1 (бпм)	Вакцинациони статус	13.11	0.16	1	0.690	0.001
	Сој вируса	863.85	10.49	2	0.000	0.089
	Вакцинациони статус*Сој вируса	157.62	1.91	1	0.168	0.009
HR на RCP (бпм)	Вакцинациони статус	31.65	0.34	1	0.560	0.002
	Сој вируса	621.41	6.68	2	0.002	0.059
	Вакцинациони статус*Сој вируса	89.15	0.96	1	0.329	0.004
HR max (бпм)	Вакцинациони статус	111.77	1.47	1	0.227	0.007
	Сој вируса	37.08	0.49	2	0.615	0.005
	Вакцинациони статус*Сој вируса	0.80	0.01	1	0.918	0.000
HR опоравак (1мин)	Вакцинациони статус	267.96	1.64	1	0.202	0.008
	Сој вируса	64.71	0.40	2	0.674	0.004
	Вакцинациони статус*Сој вируса	167.18	1.02	1	0.313	0.005
HR опоравак (2мин)	Вакцинациони статус	273.03	1.11	1	0.293	0.005
	Сој вируса	146.27	0.60	2	0.552	0.006
	Вакцинациони статус*Сој вируса	366.42	1.49	1	0.223	0.007
HR опоравак (3мин)	Вакцинациони статус	40.71	0.19	1	0.661	0.001
	Сој вируса	314.93	1.49	2	0.228	0.014
	Вакцинациони статус*Сој вируса	526.14	2.49	1	0.116	0.011

**Легенда:** M<sup>2</sup> - Квадрат средње вредности, F - Фишерава вредност статистике теста, df - степен слободe (H-1), p - значајност ефекта утицаја, η<sup>2</sup> - парцијални ета квадрат (Partial Eta Squared). Средња разлика је значајна на нивоу од 0,05.

Анализирајући величину ефеката утицаја и њену значајност (Табела 3), у целини сој вируса има веће ефекте утицаја у односу на вакцинацију на мерене параметре функционалне способности спортиста. Резултати двофакторске Анове су показали да је код соја најзначајнији Omicron, који је имао најмањи утицај на смањење функционалних способности спортиста.

Вакцинациони статус је имао само два значајна ефекта утицаја на максималну потрошњу кисеоника ( $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ) и потрошњу кисеоника на првом вентилаторном прагу ( $\dot{V}O_2/AT$ ) Интеракција вакцинациони статус/сој вируса имала је значајан ефекат утицаја само на вентилаторну ефикасност  $VE/VC02$  Вакцинациони статус и сој вируса нису имали истовремене ефекте утицаја на остале параметре.

#### 4.4. Утицај различитих сојева SARS CoV 2 вируса на функционалне способности врхунских спортиста.

У табели 4 приказане су вредности функционалних параметара спортиста код различитих сојева вируса.

**Табела 4.** Дескриптивна статистика дистрибуције функционалних параметара спортиста инфицираних различитим сојевима вируса.

Променљива	Wuhan ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	Delta ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	Omicron ( $\pm$ SD) $\bar{X}$
<b>N (број)</b>	88	66	66
<b>Starost</b>	23.52 $\pm$ 4.53	22.26 $\pm$ 4.67	23.21 $\pm$ 4.75
<b>VO<sub>2</sub> max (мл/кг/мин)</b>	47.55 $\pm$ 5.09	47.95 $\pm$ 4.64	50.63 $\pm$ 4.08*
<b>VO<sub>2</sub>/ VAT1 (мл/кг/мин)</b>	26.15 $\pm$ 4.70	24.90 $\pm$ 3.77	30.45 $\pm$ 4.41*
<b>VE/VCO<sub>2</sub> нагиб</b>	26.66 $\pm$ 2.57	25.78 $\pm$ 2.69	24.55 $\pm$ 3.32*
<b>RER (CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>)</b>	1.18 $\pm$ 0.065	1.19 $\pm$ 0.048	1.15 $\pm$ 0.032*
<b>O<sub>2</sub>/HR (мл/откуцај)</b>	20.10 $\pm$ 1.88	19.98 $\pm$ 2.1	21.59 $\pm$ 2.06*
<b>HR на VT1 (бпм)</b>	141.75 $\pm$ 11.42	140.17 $\pm$ 9.86	149.86 $\pm$ 8.11*
<b>XP на RCP (бпм)</b>	167.09 $\pm$ 10.94	166.92 $\pm$ 9.26	175.30 $\pm$ 7.95*
<b>HR max (бпм)</b>	186.49 $\pm$ 8.78	186.00 $\pm$ 8.31	186.39 $\pm$ 9.00
<b>HR опоравак (1. минут)</b>	161.75 $\pm$ 11.97	159.27 $\pm$ 13.53	161.48 $\pm$ 13.25
<b>HR опоравак (2. минут)</b>	134.57 $\pm$ 15.39	131.87 $\pm$ 16.22	132.27 $\pm$ 15.71
<b>HR опоравак (3. минут)</b>	121.98 $\pm$ 14.35	121.37 $\pm$ 14.75	119.63 $\pm$ 14.77

**Легенда:** VO<sub>2</sub> max = максимална потрошња кисеоника; VO<sub>2</sub> на VT1 = потрошња кисеоника на вентилаторном анаеробном прагу; VE/VCO<sub>2</sub> нагиб = ефикасност вентилације; RER = однос респираторне размене; O<sub>2</sub>/HR = пулс кисеоника; HR код VT1 = срчана фреквенција на првом вентилаторном прагу; HR на RCP = пулс у тачки респираторне компензације; HR max = максимални број откуцаја срца. . HR – опоравак (1. мин) = опоравак срчане фреквенце у првом минуту након теста, HR – опоравак (2. мин) = опоравак срчане фреквенце у другом минуту након теста, HR – опоравак (3. мин) = опоравак срчане фреквенце у трећем минуту.

Резултати приказани у табели 4 указују да су испитаници изложени Omicron соју показали бољу кардиореспираторну спремност у односу на Wuhan и Delta групе. Група изложена Omicron соју показала је статистички значајно већу максималну потрошњу кисеоника (VO<sub>2</sub> max) у односу на друге групе.

Такође, код групе Omicron примећени су и бољи резултати у параметрима: потрошња кисеоника на првом вентилационом прагу (VO<sub>2</sub>/VAT1), ефикасност вентилације (VE/VCO<sub>2</sub>), респираторни коефицијент размене гасова (RER), кисеонички пулс (O<sub>2</sub>/HR), срчана фреквенција (HR) на првом вентилационом прагу (VT1) и другом вентилационом прагу (VT2).

## 4.5. Утицај статуса вакцинације на функционалне способности врхунских спортиста

У табели 5 приказане су вредности функционалних параметара код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста.

Табела 5. Дескриптивна статистика дистрибуције функционалних параметара вакцинисаних и невакцинисаних спортиста.

Променљива	Вакцинисани ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	Невакцинисани ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	T value	P value
N (број)	119	101		
Starost	23.52 $\pm$ 4.53	22.26 $\pm$ 4.67		
VO <sub>2</sub> мах (мл/кг/мин)	50.10 $\pm$ 5.09*	47.30 $\pm$ 4.64	4010	0.000
VO <sub>2</sub> на VT1 (мл/кг/мин)	28.80 $\pm$ 4.70*	25.10 $\pm$ 3.77	-3.301	0.001
VE/VCO <sub>2</sub> нагиб	25.19 $\pm$ 2.57*	26.14 $\pm$ 2.69	-3.108	0.002
RER (CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> )	1.16 $\pm$ 0.065*	1.18 $\pm$ 0.048	-2.161	0.037
O <sub>2</sub> /HR (мл/откуцај)	21.10 $\pm$ 1.88*	20.05 $\pm$ 2.1	-3.038	0.003
HR на VT1 (бпм)	145.46 $\pm$ 11.42*	142.03 $\pm$ 9.86	-2.603	0.010
ХР на RCP (бпм)	171.21 $\pm$ 10.4*	167.48 $\pm$ 9.26	-2.717	0.08
HR мах (бпм)	185.87 $\pm$ 8.78	186.83 $\pm$ 8.31	0.815	0.417
HR опоравак (1. минут)	159.78 $\pm$ 11.97	162.26 $\pm$ 13.53	1.430	0.151
HR опоравак (2. минут)	131.37 $\pm$ 15.39	135.07 $\pm$ 16.22	1.750	0.082
HR опоравак (3. минут)	120.03 $\pm$ 14.35	122.35 $\pm$ 14.75	1.179	0.240

Легенда: VO<sub>2</sub> мах = максимална потрошња кисеоника; VO<sub>2</sub> на VT1 = потрошња кисеоника на вентилаторном анаеробном прагу; VE/VCO<sub>2</sub> нагиб = ефикасност вентилације; RER = однос респираторне размене. HR – опоравак (1. мин) = опоравак срчане фреквенце у првом минути након теста, HR – опоравак (2. мин) = опоравак срчане фреквенце у другом минути након теста, HR – опоравак (3. мин) = опоравак срчане фреквенце у трећем минути. Резултати су представљени као средња вредност  $\pm$  стандардна девијација \* = Средња разлика је значајна на нивоу од 0,05.

Резултати приказани у табели 5 указују на статистички значајне разлике између вакцинисаних и невакцинисаних испитаника у неколико физиолошких параметара повезаних са аеробним капацитетом и кардиореспираторном издржљивошћу. Средња вредност VO<sub>2</sub>мах код вакцинисаних испитаника била је значајно виша у односу на невакцинисане са  $p < 0,001$ , што указује на статистички значајну разлику.

## 4.6. Утицај различитих вакцина на функционалне способности врхунских спортиста

У табели 6 приказане су вредности функционалних параметара код вакцинисаних спортиста различитим вакцинама

Табела 6. Дескриптивна статистика функционалних параметара вакцинисаних спортиста различитим врстама вакцина.

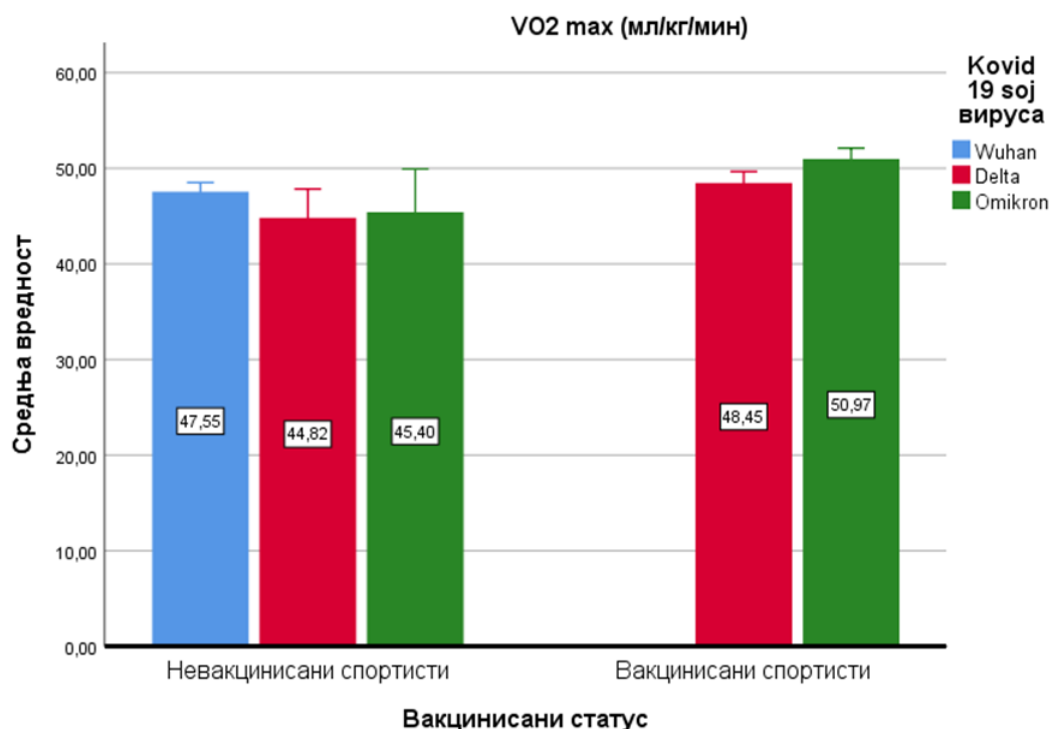
Променљива	Pfizer Biontech ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	Sinopharm ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	Astra Zeneca ( $\pm$ SD) $\bar{X}$
N (број)	35	53	31
VO2 мах (мл/кг/мин)	48.37 $\pm$ 4.546	52.35 $\pm$ 4.134*	48.49 $\pm$ 4.494
VO2 на VТ1 (мл/кг/мин)	28.08 $\pm$ 4.936	28.75 $\pm$ 5.358	26.99 $\pm$ 4.165
VE/VCO2 нагиб	26.78 $\pm$ 3.379	24.47 $\pm$ 2.802	24.71 $\pm$ 2.663
RER (CO2/O2)	1.16 $\pm$ 0.048	1.16 $\pm$ 0.044	1.17 $\pm$ 0.041
O2/HR (мл/откуцај)	21.030 $\pm$ 2.17	20.67 $\pm$ 2.122	21.08 $\pm$ 2.33
VE Мах/Lit/Min	145.05 $\pm$ 21.00	140.25 $\pm$ 22.34	139.99 $\pm$ 15.15
HR на VТ1 (бпм)	144.34 $\pm$ 9.59	145.22 $\pm$ 10.15	147.25 $\pm$ 10.07
HR на RCP (бпм)	170.17 $\pm$ 9.30	172.11 $\pm$ 9.40	170.87 $\pm$ 9.86
HR мах (бпм)	185.02 $\pm$ 8.25	186.75 $\pm$ 9.07	184.80 $\pm$ 8.63
HR опоравак (1. минут)	160.25 $\pm$ 13.97	159.45 $\pm$ 13.96	159.12 $\pm$ 12.45
HR опоравак (2. минут)	132.91 $\pm$ 18.39	129.90 $\pm$ 13.92	131.10 $\pm$ 16.40
HR опоравак (3. минут)	120.48 $\pm$ 17.12	119.90 $\pm$ 13.25	118.61 $\pm$ 14.66

**Легенда:** VO2 мах = максимална потрошња кисеоника; VO2 на VТ1 = потрошња кисеоника на вентилаторном анаеробном прагу; VE/VCO2 нагиб = ефикасност вентилације; RER = однос респираторне размене. HR – опоравак (1. мин) = опоравак срчане фреквенце у првом минуту након теста, HR – опоравак (2. мин) = опоравак срчане фреквенце у другом минуту након теста, HR – опоравак (3. мин) = опоравак срчане фреквенце у трећем минуту. Резултати су представљени као средња вредност  $\pm$  стандардна девијација  
\* = Средња разлика је значајна на нивоу од 0,05.

Резултати из табеле 6 показују да су спортисти вакцинисани Sinopharm вакцином имали нешто боље очуване вредности аеробне способности и вентилационе ефикасности у поређењу са осталим групама иако је статистички значајна разлика примећена само код максималне потрошње кисеоника. Максимална потрошња кисеоника ( $VO_{2max}$ ) показала је статистички значајну предност код спортиста вакцинисаних Sinopharm вакцином у односу на оне који су примили Pfizer BioNTech вакцину и AstraZeneca вакцину.

#### 4.7. Утицај различитих сојева SARS CoV 2 вируса и статуса вакцинације на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_{2max}$ ) врхунских спортиста

У графикону 1 дат је приказ вредности  $VO_{2max}$  код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста код различитих сојева SARS- CoV-2.



**Графикон 1.** Дистрибуција средњих вредности максималне потрошње кисеоника ( $VO_{2max}$ ) унутар различитих сојева SARS- CoV-2 код вакцинисаних и не вакцинисаних спортиста. Резултати су представљени као средња вредност.

У поређењу аеробног капацитета између спортиста различитих група, примећено је да код Wuhan и Delta групе испитаника, није било статистички значајне разлике у максималној потрошњи кисеоника, док су вакцинисани спортисти који су били инфицирани Omicron сојем вируса, имали статистички значајно боље вредности  $VO_{2max}$ .

Упркос овој чињеници, Графикон 1 показује да је већи број спортиста, који су били инфицирани Wuhan сојем, имао виши  $VO_2$  мах од средње израчунате вредности упоређен са истим подацима унутар Delta и Omicron групе, код невакцинисаних спортиста. Истовремено, примећена је разлика која је статистички значајна у корист спортиста из Delta и Omicron групе који су вакцинисани, у односу на оне који нису вакцинисани против Ковида 19.

#### 4.8. Однос између врсте спорта и статуса вакцинације и утицај на максималну потрошњу кисеоника

У табели 7 приказан је однос између вакцинације и врсте спорта и утицај на максималну потрошњу кисеоника.

**Табела 7.** Утицај ефекта вакцинације и врсте спорта на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_{2max}$ )

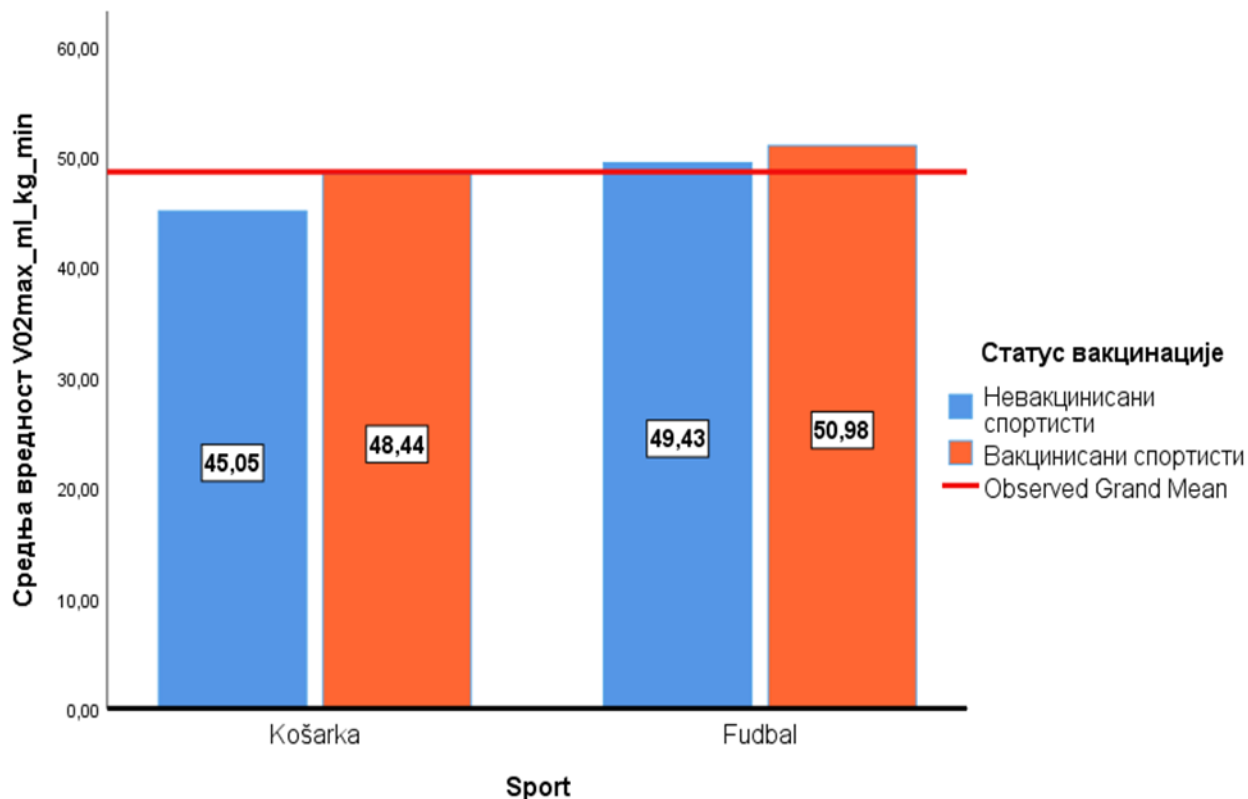
Tests of Between-Subjects Effects						
Зависна варијабла: $VO_{2max}/ml/kg/min$						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P value	$\eta^2$
Corrected Model	1029.275 <sup>a</sup>	3	343.092	18.031	0.000	0.200
Intercept	513099.222	1	513099.222	26966.368	0.000	0.992
Vakcinisani_status	332.214	1	332.214	17.460	0.000	0.075
Sport	653.721	1	653.721	34.357	0.000	0.137
Vakcinisani_status * Sport	46.239	1	46.239	2.430	0.120	0.011
Error	4109.913	216	19.027			
Total	524702.350	220				
Corrected Total	5139.188	219				

a. R Squared = 0,200 (Adjusted R Squared = 0,189) F - Фишерава вредност статистике теста, df - степен слободe (H-1), p - значајност ефекта утицаја,  $\eta^2$  - парцијални ета квадрат (Partial Eta Squared).

У табели 7 приказано је да је спорт је имао већи утицај на  $VO_{2max}$  у односу на вакцинацију ( $F = 34,357$ ;  $p < 0,001$ ), са  $\eta^2 = 0,137$ , што значи да овај фактор објашњава 13,7% варијансе  $VO_{2max}$ .

#### 4.9. Утицај статуса вакцинације и врсте спорта на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_{2max}$ ) врхунских спортиста

У графикону 2 представљене су вредности потрошње кисеоника у односу на спорт и статус вакцинације.

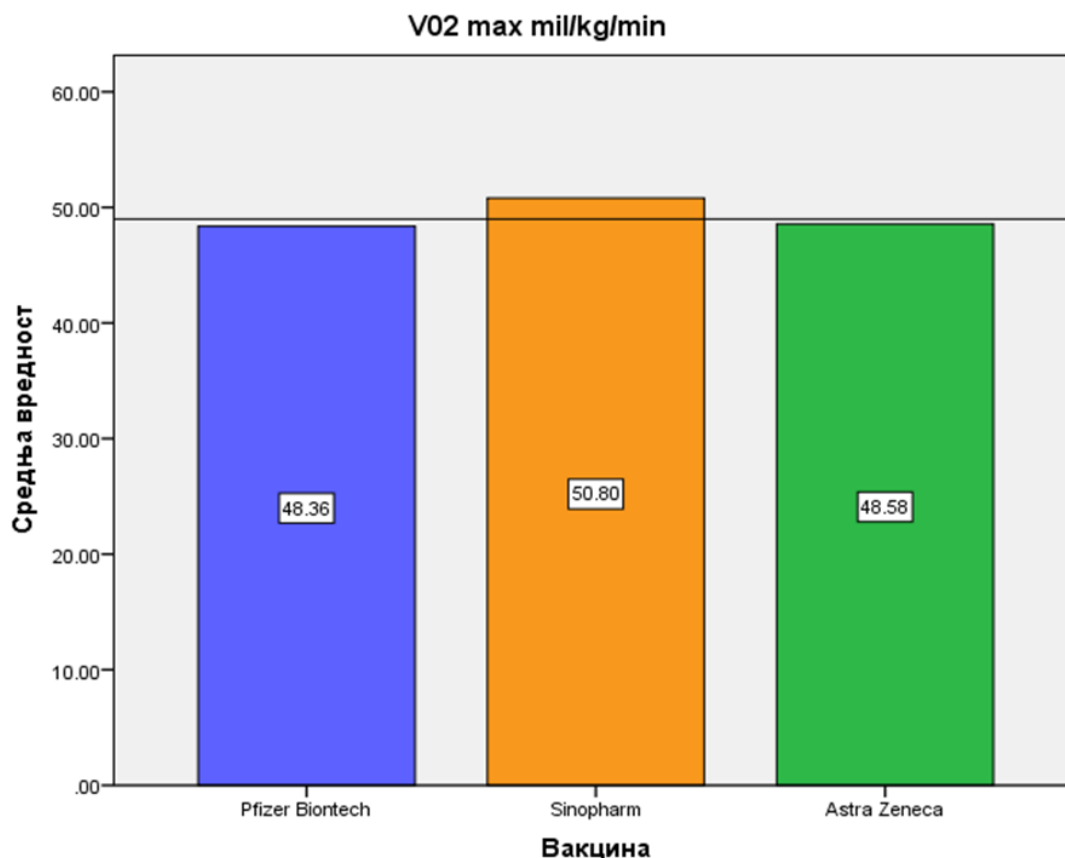


**Графикон 2.** Дистрибуција вредности  $VO_{2max}$  у односу на врсту спорта и статус вакцинације код врхунских спортиста међународног нивоа. Резултати су представљени као средња вредност

Графикон 2 приказује просечне вредности  $VO_{2max}$  (мл/кг/мин) код спортиста различитог вакцинационог статуса у две спортске дисциплине: кошарка и фудбал. Примећено је да вакцинисани спортисти у обе дисциплине имају веће вредности  $VO_{2max}$  у поређењу са невакцинисаним спортистима. Ова разлика је израженија код кошаркаша него код фудбалера.

**4.10. Утицај врсте вакцине на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_2\max$ ) врхунских спортиста**

У графикону 3 приказане су вредности максималне потрошње кисеоника у односу на врсту вакцине.

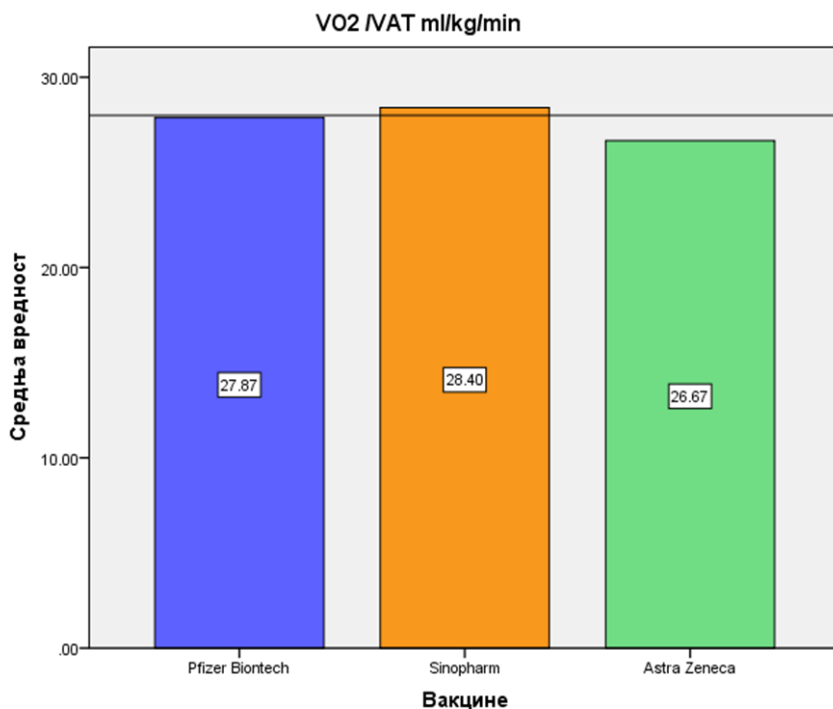


**Графикон 3.** Дистрибуција вредности  $VO_2\max$  у односу на врсту вакцине код врхунских спортиста међународног нивоа. Резултати су представљени као средња вредност

Графикон 3 приказује поређење средњих вредности  $VO_2\max$  (у мл/кг/мин) код испитаника вакцинисаних различитим типовима вакцина: Pfizer-BioNTech, Sinopharm и AstraZeneca. Највишу средњу вредност  $VO_2\max$  имају испитаници вакцинисани вакцином Sinopharm и она је статистички значајна. Испитаници који су примили Pfizer-BioNTech вакцину имају нешто нижу вредност, а сличну вредност имају и они који су примили AstraZeneca вакцину. Између ове две групе није било статистички значајне разлике.

#### 4.11. Утицај различитих сојева SARS CoV 2 и статуса вакцинације на потрошњу кисеоника на првом вентилаторном прагу ( $VO_2/VAT$ ) код врхунских спортиста.

У графикону 4 приказане су вредности аеробне економичности код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста.

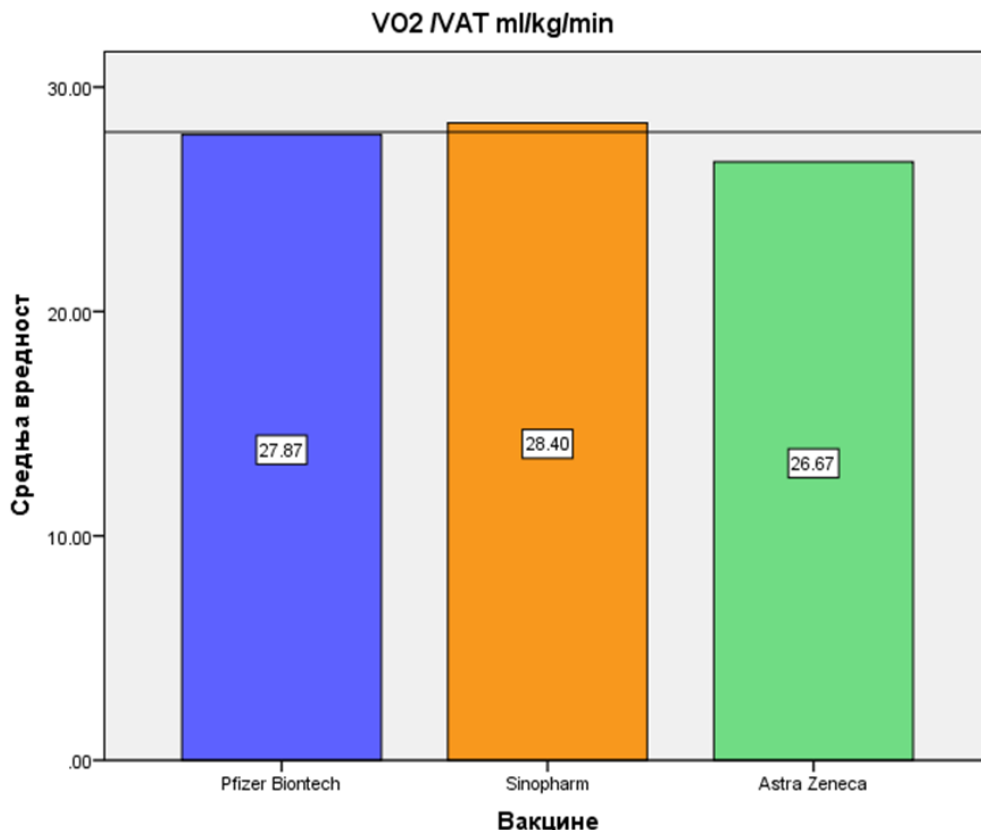


**Графикон 4.** Дистрибуција средњих вредности аеробне економичности код вакцинисаних и невакцинисаних врхунских спортиста у односу на сој SARS CoV-2 вируса. Резултати су представљени као средња вредност.

Резултати приказани у графикону 4, указују да је потрошња кисеоника на првом аеробном прагу ( $VO_2/VAT$ ) била много већа у групи Omicron у поређењу са групама Wuhan и Delta, што значи да се аеробна економија у великој мери побољшала током каснијих фаза пандемије. Истовремено спортисти инфицирани Omicron сојем који су вакцинисани имали су најбоље параметре потрошње кисеоника на првом прагу и касније су улазили у анаеробни замор у односу на невакцинисане спортисте.

#### 4.12. Утицај различитих врста вакцина на потрошњу кисеоника на првом вентилаторном прагу ( $VO_2/VAT$ ) код врхунских спортиста

У графикаону 5 приказане су вредности аеробне економичности спортиста у односу на вакцину.



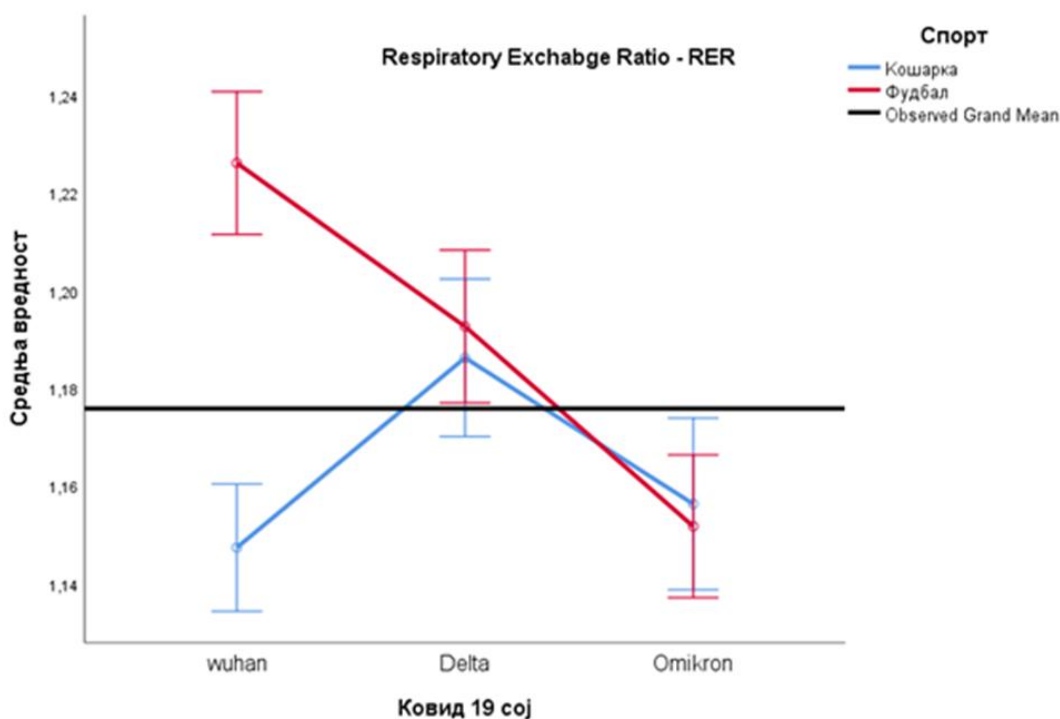
**Графикон 5.** Дистрибуција средњих вредности аеробне економичности код вакцинисаних спортиста у односу на врсту вакцине. Резултати су представљени као средња вредност.

Графикон 5 представља просечне вредности  $VO_2$  при вентилаторном прагу ( $VO_2/VT$ ) у мл/кг/мин у зависности од типа примљене вакцине (Pfizer BioNTech, Sinopharm и AstraZeneca). Подаци показују да су вредности  $VO_2/VAT$  релативно сличне међу групама, али се уочава да испитаници вакцинисани Sinopharm вакцином имају незнатно веће вредности у поређењу са осталим групама, док је најнижа вредност забележена код особа које су примиле AstraZeneca вакцину.

#### 4.13. Утицај различитих сојева Sars Cov 2 на однос респираторне размене гасова (RER) код вакцинисаних и невакцинисаних врхунских спортиста.

У циљу испитивања анаеробне издржљивости спортиста инфицираних различитих сојева SARS-CoV-2 пратили смо коефицијент респираторне размене гасова (RER) код спортиста изложених сојевима Wuhan, Delta и Omikron. Резултати двофакторске ANOVA су показали да вакцинација спортиста и сој вируса немају значајан утицај на RER, због чега је вршена вишеструка регресиона анализа RER у зависности од сва три фактора.

У графикаону 6 приказане су вредности коефицијента респираторне размене гасова у односу на сој вируса и врсту спорта.

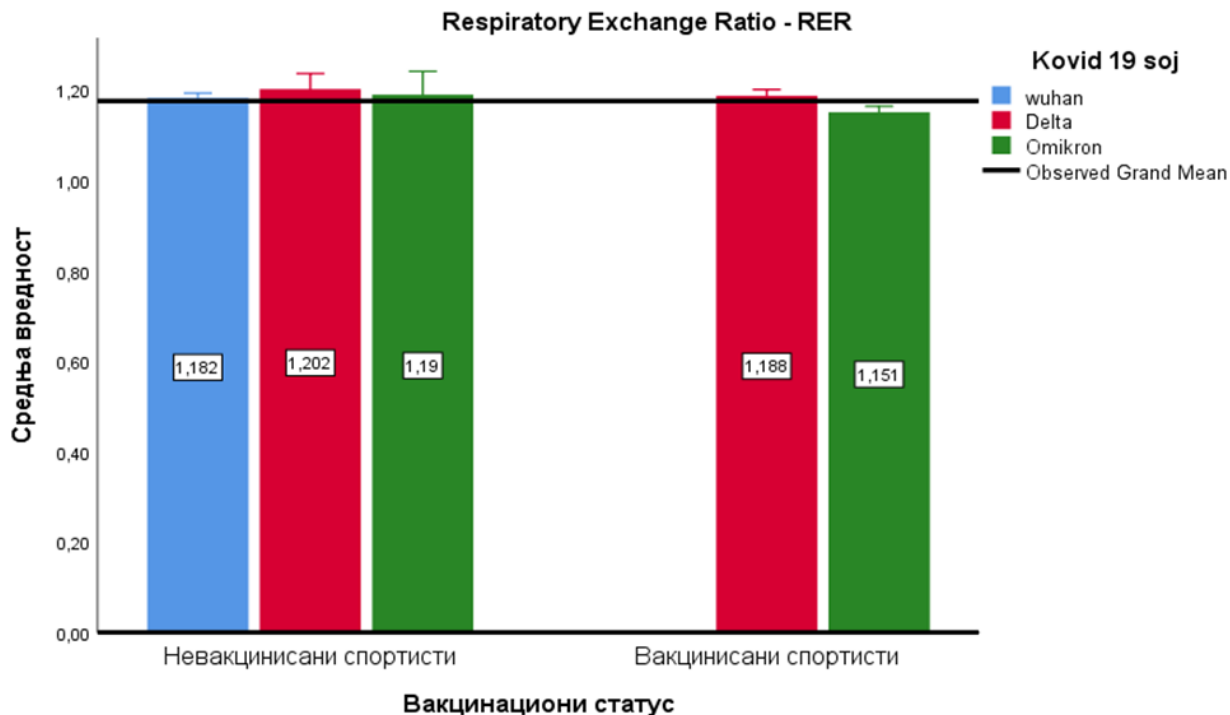


**Графикон 6.** Дистрибуција средњих вредности коефицијента респираторне размене гасова (RER) у односу на сој вируса SARS CoV-2 и врсту спорта. Резултати су представљени као средња вредност.

Резултати приказани у Графикону 6 указују да постоји разлика између кошаркаша и фудбалера, у параметру респираторне размене гасова (RER) у зависности од варијанте вируса SARS-CoV-2 (Wuhan, Delta и Omikron) као и код спортиста који се баве кошарком (плава линија) и фудбалом (црвена линија).

#### 4.14. Утицај различитих сојева Sars Cov 2 и статуса вакцинације на однос респираторне размене гасова (RER)

У графикаону 7 приказане су вредности (RER) код вакцинисаних и невакцинисанх у односу на сој вируса.

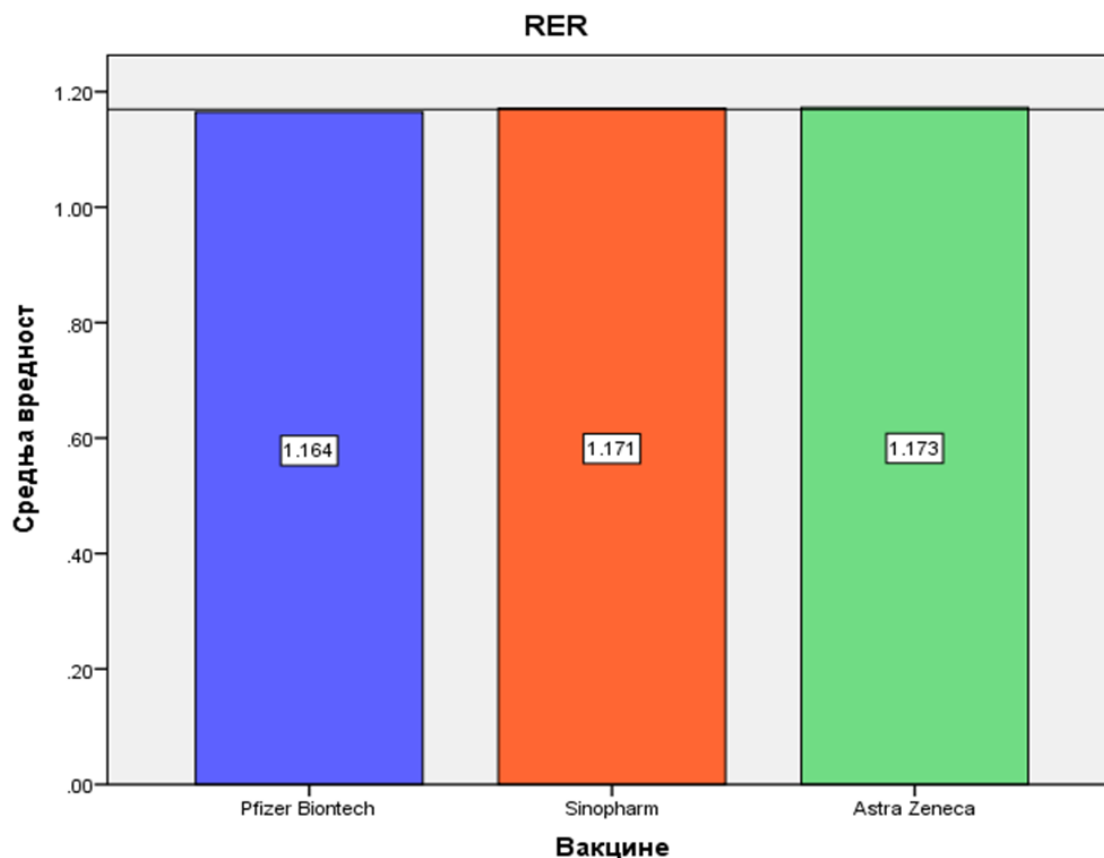


**Графикон 7.** Дистрибуција средњих вредности коефицијента респираторне размене гасова (RER) код вакцинисаних и невакцинисанх спортиста у односу на сој SARS CoV-2. Резултати су представљени као средња вредност.

Резултати графикаона 7 показују да варијанте соја Wuhan, Delta и Omicron имају сличне RER вредности (око 1,18), што сугерише сличну метаболичку реакцију на ове сојеве. Резултати указују на то да различите варијанте вируса имају мали утицај на RER, са малим варијацијама између њих. Вакцинациони статус можда утиче на метаболичке одговоре, с обзиром на то да вакцинисани спортисти имају ниже вредности метаболичког одговора.

#### 4.15. Утицај различитих врста вакцине на однос респираторне размене гасова (RER)

У графикону 8 дат је приказ вредности коефицијента респираторне размене гасова (RER) у односу на врсту вакцине.



**Графикон 8.** Дистрибуција средњих вредности коефицијента респираторне размене гасова (RER) код врхунских спортиста у односу на врсту вакцине. Резултати су представљени као средња вредност.

Графикон 8 представља релативне ефективне вредности (RER) различитих вакцина против КОВИД-19 (Pfizer-BioNTech, Sinopharm и AstraZeneca). С обзиром на то да вакцинациони статус није имао ефекте утицаја на однос респираторне размене гасова RER, а разлике у овом параметру није било статистички значајне разлике код испитаника који су вакцинисани са три различите вакцине.

#### 4.16. Утицај различитих сојева Sars Cov 2 на однос респираторне размене гасова (RER) и срчане фреквенце на вентилаторним праговима

У табели 8 приказан је однос између повишених вредности RER и снижених прагова вентилације на вентилаторним праговима.

**Табела 8.** Однос између повишених вредности RER и снижених прагова вентилације на вентилаторним праговима.

	Wuhan	Delta	Omicron
<b>RER (CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>)</b>	1.18±0,065	1.19±0,048	1.15±0.032*
<b>HR на VT1 (бпм)</b>	141.75±11.42	140.17±9.86	149.86±8.11*
<b>HR на RCP (бпм)</b>	167.09±10.94	166.92±9.26	175.30±7.95*

**Легенда:** RER = однос респираторне размене; HR код VT1 = откуцаја срца на прагу анаеробне вентилације; HR на RCP = пулс у тачки респираторне компензације. Резултати су представљени као ± стандардна девијација\*—Средња разлика је значајна на нивоу од 0,05.

Резултати у табели 8 указују на значајне разлике у кардиореспираторним одговорима у зависности од варијанте SARS-CoV-2 вируса и нивоа респираторне размене гасова. Omicron варијанта је повезана са нижим RER, као и већим вредностима HR на VT1 и RCP у односу на сојеве Wuhan и Delta.

#### 4.16. Однос соја вируса SARS CoV-2 и статуса вакцинације на вентилаторну ефикасност (VE/VCO<sub>2</sub>)

У табели 9 приказан је однос вакцинационог статуса и соја вируса на вентилациону ефикасност.

**Табела 9.** Величина ефеката вакцинационог статуса и соја вируса на вентилациону ефикасност VE/VCO<sub>2</sub>

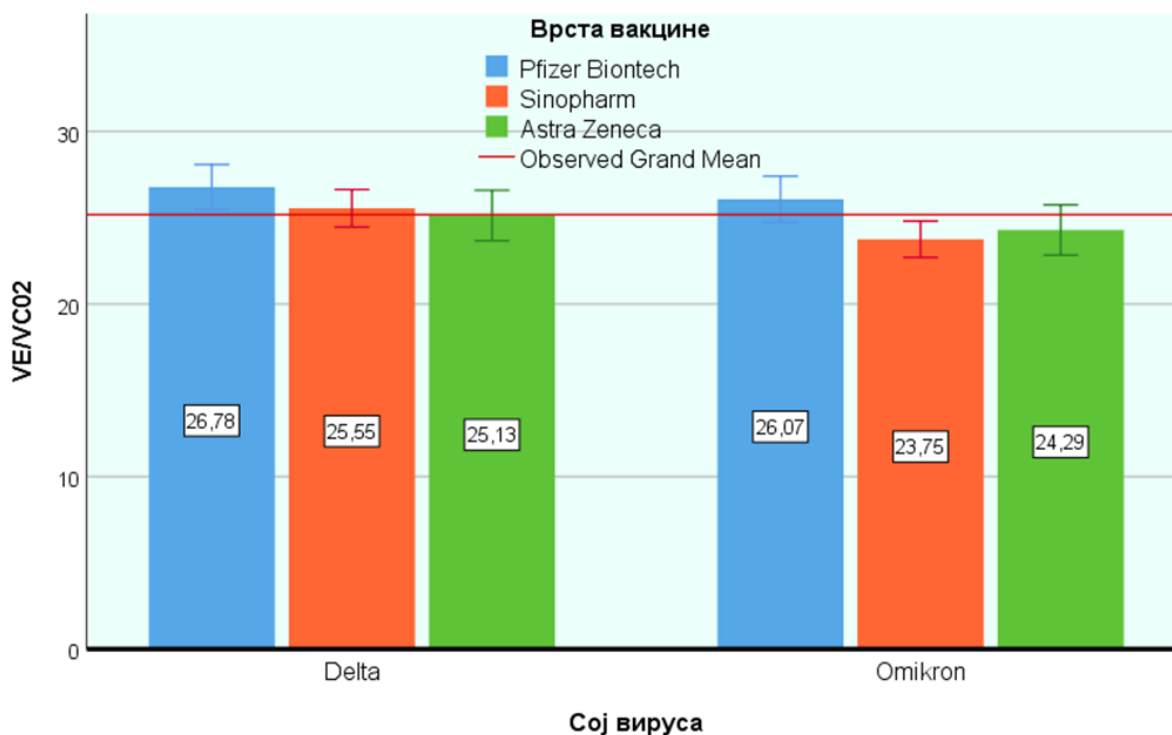
Параметар	M <sup>2</sup>	F	Df	p	η <sup>2</sup>
Корекције модела	74.968	9.836	4	0.000	0.155
Константа	67444.833	8848.45	1	0.000	0.976
Вакцинациони статус	5.623	0.738	1	0.391	0.003
Сој вируса	23.477	3.080	2	0.048	0.028
Вакцинациони статус * Сој вируса	128.634	16.876	1	0.000	0.073
Грешка	7.622		215		
Укупно			220		
Корекција укупног			219		

**Легенда** M<sup>2</sup> - Квадрат средње вредности, F - Фишерава вредност статистике теста, df - степен слободe (N-1), p - значајност ефекта утицаја, η<sup>2</sup> - парцијални ета квадрат (Partial Eta Squared).

Резултати 2x3 факторске ANOVA показали су да је модел статистички значајан (F = 9.836; p < 0,001), што указује да независне променљиве имају укупни ефекат на параметар Ve/VCO<sub>2</sub>. (Табела 9) Разлика у Ve/VCO<sub>2</sub> између вакцинисаних и невакцинисаних није била статистички значајна, што указује да сама вакцинација нема директан утицај на овај кардиореспираторни параметар. Постоји статистички значајна разлика у Ve/VCO<sub>2</sub> између различитих сојева вируса Такође, значајна је интеракција између вакцинационог статуса и соја вируса указује да ефекат вакцинације на Ve/VCO<sub>2</sub> зависи од варијанте вируса којом је особа била инфицирана.

**4.17. Утицај врсте соја SARS CoV-2 и врсте вакцине на вентилаторну ефикасност (VE/VC02)**

У Графикону 9 приказане су вредности вентилаторне ефикасности у односу на врсту вакцине и сој вируса.

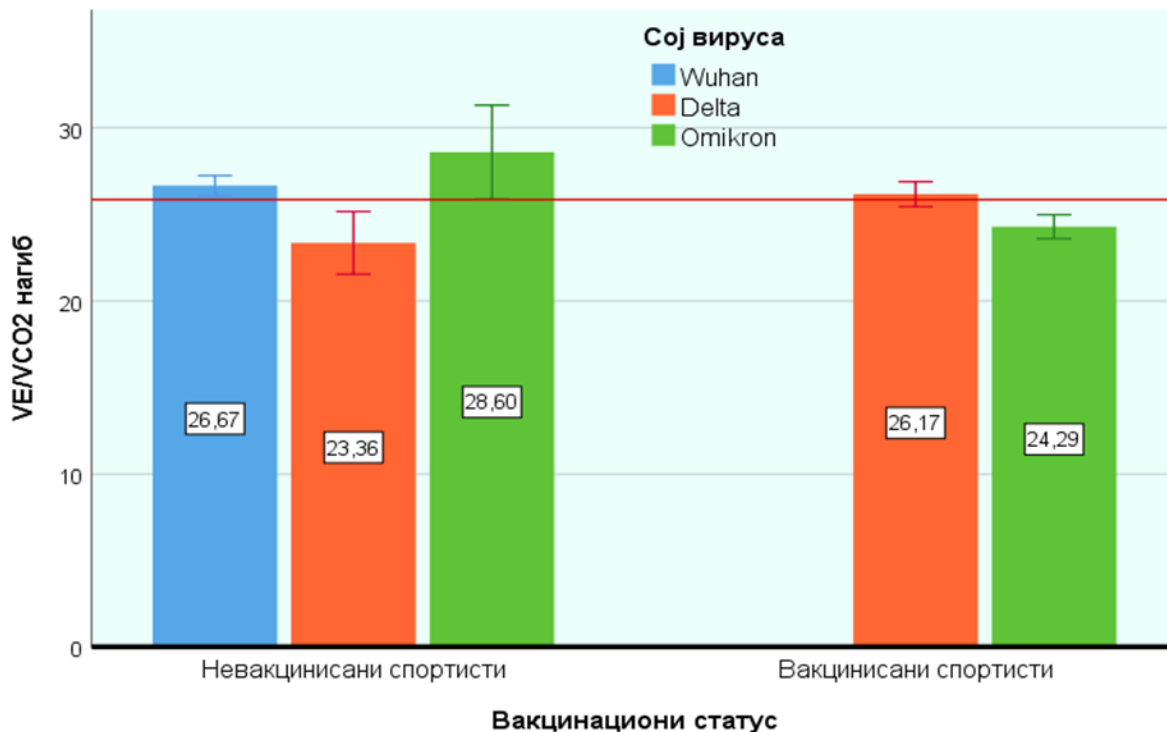


**Графикон 9.** Дистрибуција средње вредности VE/VC02 у односу на врсту вакцине и сој SARS CoV-2 код врхунских спортиста. Резултати су представљени као средња

У графикону 9 се може видети однос врсте вакцине и соја вируса и вредности VE/VC02 у свакој групи у односу на просечну вредност узорка (црвена хоризонтална линија). Вредности VE/VC02 криве су нешто ниже након инфекције Omikron сојем у поређењу са Делта сојем, док Pfizer-BioNTech група (плава боја) има највише вредности VE/VC02 за оба соја.

#### 4.18. Утицај врсте соја SARS CoV-2 и статуса вакцинације на вентилаторну ефикасност (VE/VC02)

У графикону 10 приказане су вредности вентилаторне ефикасности вакцинисаних и невакцинисаних спортиста у односу на сој вируса.



**Графикон 10.** Дистрибуција средње вредности VE/VC02 у односу на вакцинисане и невакцинисане врхунске спортисте и различите врсте соја SARS CoV-2. Резултати су представљени као средња вредност

Графикон 10 показује да вакцинисани спортисти показују бољу вентилациону ефикасност, посебно након инфекције Omicron сојем, док невакцинисани спортисти након инфекције Omicron сојем имају највећу вредност VE/VC02 (28,60). Delta сој је имао најниже вредности VE/VC02. Највећа разлика у корист вакцинације примећује се код Omicron соја, што може указивати на заштитни ефекат вакцинације на очување вентилационе ефикасности.

**4.19. Однос соја вируса SARS CoV-2 и врсте вакцине на вентилаторну ефикасност (VE/VC02)**

У табели 10 приказан је однос соја вируса и врсте вакцине на вентилациону ефикасност VE/VC02.

**Табела 10.** Величина ефекта соја вируса и врсте вакцине на вентилациону ефикасност VE/VC02

Параметар	M <sup>2</sup>	F	Df	p	η <sup>2</sup>
Корекције модела	29.190	3.339	5	0.007	0.118
Константа	78057.885	8927.988	1	0.000	0.986
Сој вируса	37.912	4.336	1	0.039	0.034
Врста вакцине	42.089	4.814	2	0.010	0.072
Сој вируса * Врста вакцине	4.359	0.499	2	0.609	0.008
Грешка	8.743		125		
Укупно			131		
Корекција укупног			130		

**Легенда:** M2 - Квадрат средње вредности, F - Фишерава вредност статистике теста, df - степен слободе (H-1), p - значајност ефекта утицаја, η<sup>2</sup> - парцијални ета квадрат (Partial Eta Squared).

Резултати анализе (Табела 10) показују да је укупни модел статистички значајан што указује да независне променљиве заједно објашњавају значајан део варијансе зависне променљиве. Сој вируса има статистички значајан утицај на зависну променљиву али са релативно ниском вредношћу η<sup>2</sup> (0,034), што указује на мали ефекат (3,4% објашњене варијансе). Врста вакцине такође има значајан утицај, са нешто већим ефектом у односу на сој вируса (η<sup>2</sup> = 0,072), што значи да ова варијабли објашњава 7,2% варијансе зависне променљиве.

## 4.20. Однос врсте вакцина и соја вируса у односу на групе

У табели 11 приказан је однос врсте вакцина и соја вируса у односу на групе.

**Табела 11.** Дескриптивна статистика у варијабли VE/VC02 и односа врсте вакцине и соја вируса у односу на групе.

Врста вируса	Врста вакцине	Средња вредност	Стандардна девијација	Н	Тест вишеструких поређења (Post-hoc)
Delta	Pfizer Biontech	26.78	2.94	20	Спортисти са Delta вирусом имају више вредности, без статистичке значајности
	Sinopharm	25.55	2.64	29	
	Astra Zeneca	25.13	2.30	16	
	Укупно	25.83	2.70	65	
Omicron	Pfizer Biontech	26.07	4.00	19	Највише вредности имају спортисти вакцинисани Pfizer Biontech вакцином, које су значајно веће од вакцинисаних Sinopharm-ом ( $p<0,01$ ) и Astra Zeneca-ом ( $p<0,05$ ).
	Sinopharm	23.75	2.82	31	
	Astra Zeneca	24.29	2.92	16	
	Укупно	24.55	3.32	66	
Укупно	Pfizer Biontech	26.44	3.47	39	
	Sinopharm	24.62	2.86	60	
	Astra Zeneca	24.71	2.62	32	
	Укупно	25.18	3.09	131	

Табела 11 приказује просечне вредности VE/VC02 код спортиста инфицираних различитим сојевима вируса SARS-CoV-2 (Delta и Omicron), у зависности од врсте примљене вакцине (Pfizer-BioNTech, Sinopharm и AstraZeneca). Код спортиста заражених Delta сојем, највишу средњу вредност има група вакцинисана Pfizer-BioNTech вакцином док најнижу вредност имају они вакцинисани AstraZeneca вакцином ( $25,13 \pm 2,30$ ). Разлике међу групама постоје, али нису статистички значајне.

## 4.21. Утицај вакцинационог статуса и соја вируса у односу на групе спортиста

У табели 12 приказане су вредност вентилаторне ефикасности и утицај вакцинационог статуса и соја вируса у односу на групе спортиста.

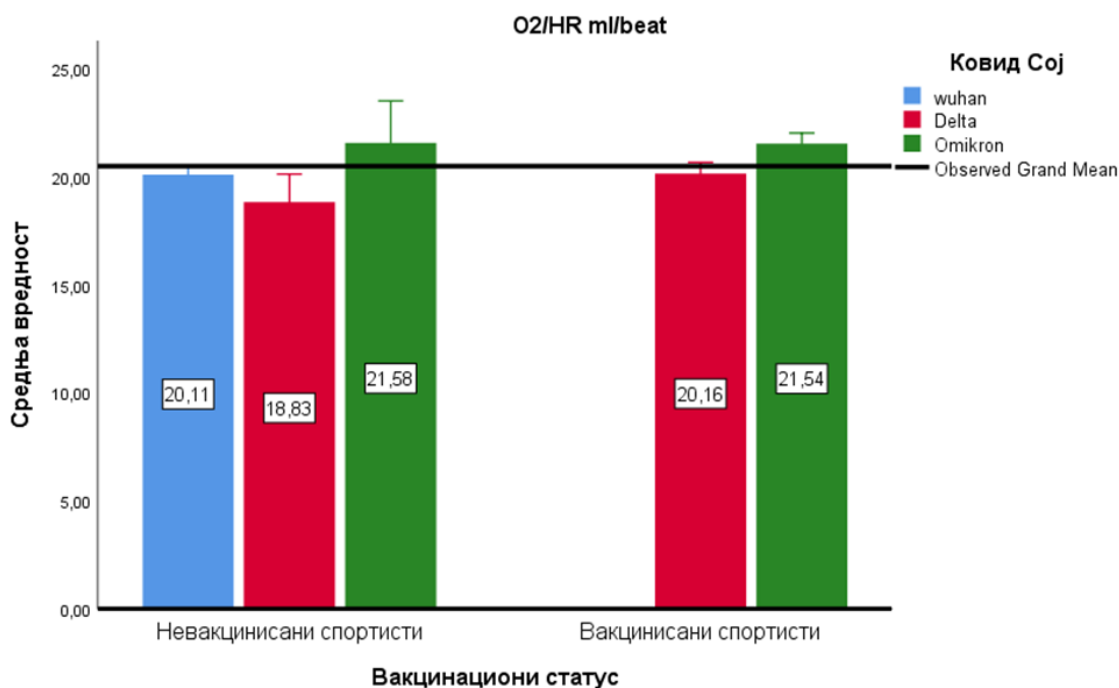
**Табела 12.** Дескриптивна статистика вакцинационог статуса и соја вируса у односу на групе у варијабли VE/VC02. Резултати су представљени као средња вредност ± стандардна девијација

Вакцинациони статус	Сој вируса	Средња вредност	Стандардна девијација	Н	Тест вишеструких поређења (Post-hoc)
Невакцинисани спортисти	Wuhan	26.67	2.58	88	Невакцинисани спортисти имају више вредности, без статистичке значајности
	Delta	23.36	2.12	9	
	Omicron	28.60	1.04	4	
	Укупно	26.45	2.70	101	
Вакцинисани спортисти	Delta	26.17	2.59	57	Највише вредности има Wuhan, разлике између група су значајне ( $p < 0,01$ )
	Omicron	24.29	3.25	62	
	Укупно	25.19	3.09	119	
Укупно	Wuhan	26.67	2.58	88	
	Delta	25.11	2.70	66	
	Omicron	25.81	3.32	66	
	Укупно	25.86	2.98	220	

Дескриптивна статистика вакцинационог статуса и соја вируса (Табела 12) показује да невакцинисани спортисти имају више вредности од вакцинисаних али без статистичке значајности, док од врсте сојева вируса значајно највише вредности има сој Wuhan. Разлике између свих врста соја су значајне ( $p < 0,01$ ). У односу на све групе, највишу вредност имају невакцинисани спортисти са сојем вируса Omicron, а најнижу вредност имају такође невакцинисани спортисти са сојем вируса Delta.

#### 4.22. Утицај различитих сојева SARS CoV-2 на кисеонички пулс (O<sub>2</sub>/HR) вакцинисаних и невакцинисаних врхунских спортиста.

У графикаону 11 приказане су вредности кисеоничког пулса код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста у односу на сој вируса.

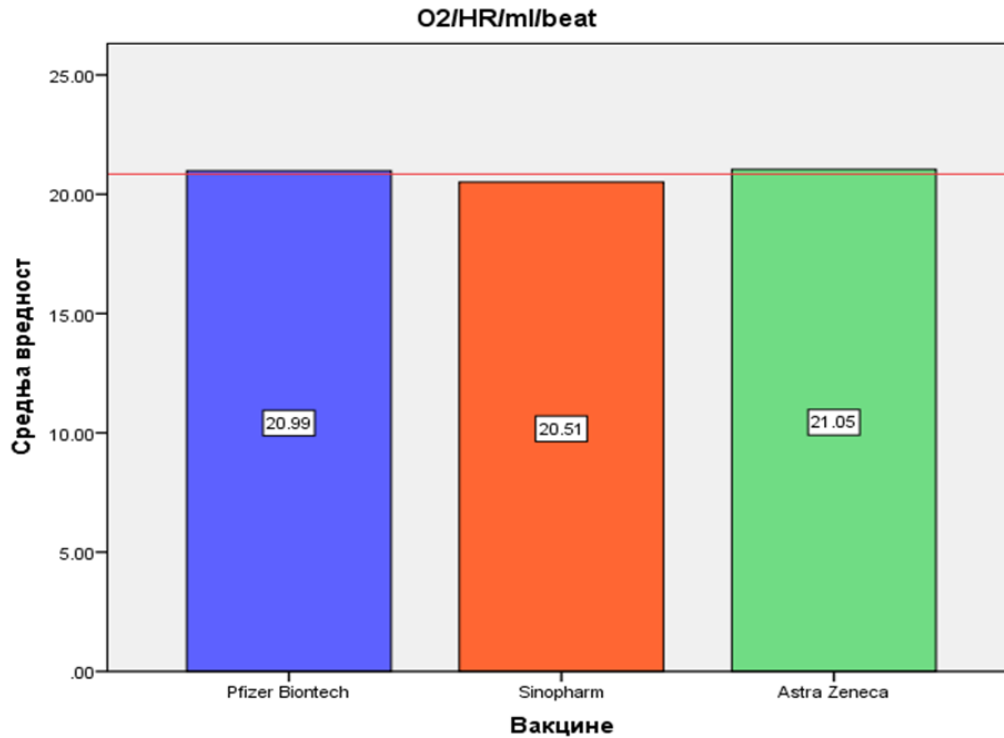


**Графикон 11.** Дистрибуција средње вредности кисеоничког пулса O<sub>2</sub>/HR у односу на инфекцију различитим сојевима SARS CoV-2. и између вакцинисаних и невакцинисаних спортиста. Резултати су представљени као средња вредност ± стандардна девијација.

Графикон 11 указује да је утицај вакцинације на кисеонички пулс (O<sub>2</sub>/HR) статистички занемарљив, са врло малим утицајем од само ( $p=0,301$ ) Утицај соја вируса је на граници средње статистичке значајности, са утицајем од ( $p<0,003$ ). Интеракција између вакцинације и соја вируса није статистички значајна ( $p=0,276$ ). Разлике између вакцинисаних и невакцинисаних спортиста нису статистички значајне. Резултати показују да сој вируса има статистички значајан утицај на вредности O<sub>2</sub>/HR код спортиста, док вакцинација нема значајан ефекат на овај параметар.

#### 4.23. Утицај различитих врста вакцина на кисеонички пулс ( $O_2/HR$ ) код врхунских спортиста.

У графикону 12 приказане су вредности кисеоничког пулса код спортиста у односу на врсту вакцине.

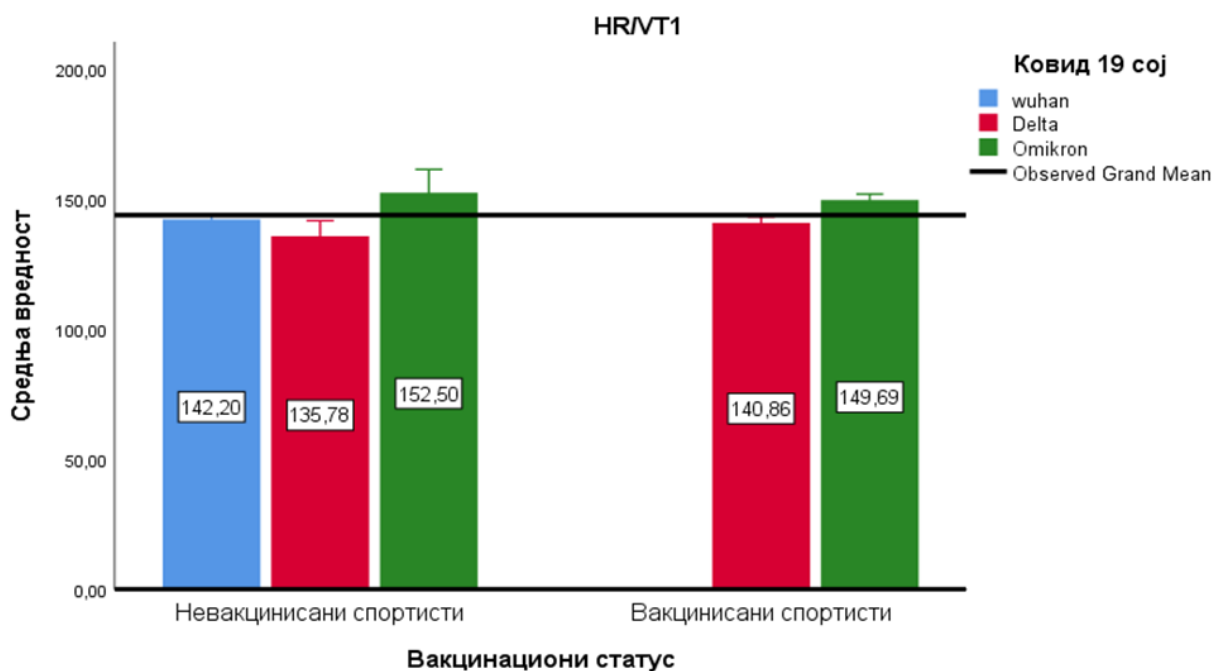


**Графикон 12.** Дистрибуција средње вредности кисеоничког пулса  $O_2/HR$  у односу на врсту вакцине код врхунских спортиста. Резултати су представљени као средња вредност

Код поређења утицаја врсте вакцине на кисеонички пулс нису пронађене статистички значајне разлике у овој варијабли између спортиста ( $p > 0,05$ ) (Графикон 12). Вредности  $O_2/HR$  су веома сличне у све три групе, без статистички значајних разлика. Вредности  $O_2/HR$  у свим групама у оквиру су нормалних физиолошких граница за трениране спортисте, што сугерише да различите вакцине нису значајно утицале на срчану функцију.

#### 4.24. Утицај различитих сојева SARS CoV-2 и вакцинације на параметре срчане фреквенце на првом вентилаторном прагу (HR/VT1)

У графикаону 13 представљене су вредности срчане фреквенце на првом вентилаторно/анаеробном прагу код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста.

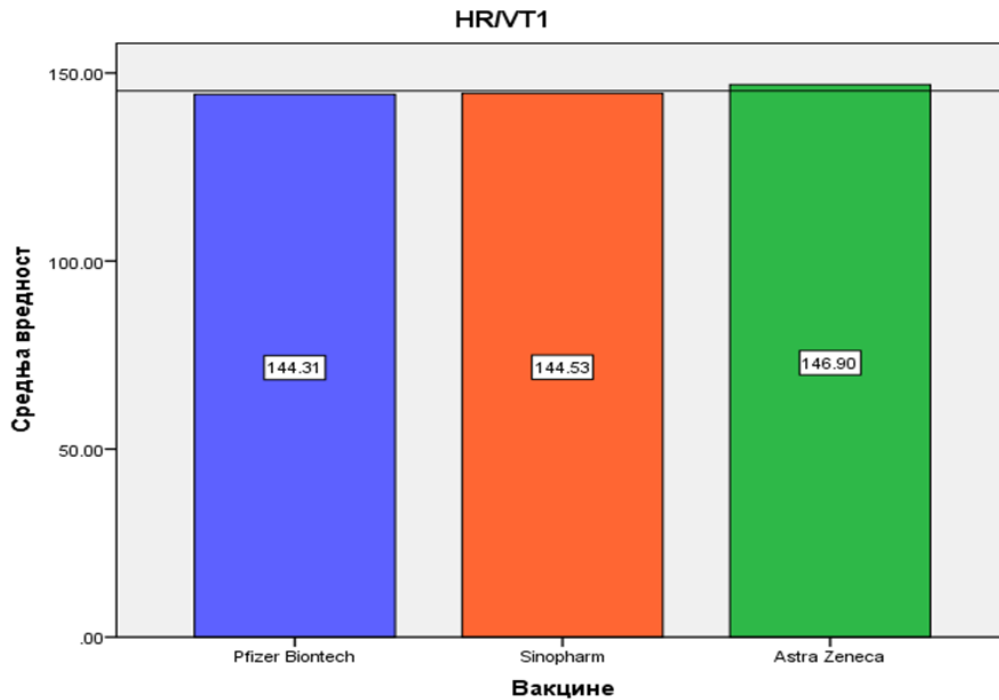


**Графикон 13.** Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце на првом вентилаторном прагу HR/VT1 у односу инфекцију различитим сојевима SARS CoV 2 вируса и у односу на вакцинисане и невакцинисане спортисте. Резултати су представљени као средња вредност

Графикон 13 приказује просечне вредности срчане фреквенције на првом вентилаторном прагу (HR/VT1) код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста, у зависности од соја вируса SARS-CoV-2 (Wuhan, Delta, Omicron). Резултати указују да сој вируса има средње статистички значајан утицај на срчану фреквенцу на првом прагу (HR/VT1) код спортиста ( $\eta^2= 0.089$ ), док вакцинација нема значајан ефекат на овај параметар ( $\eta^2= 0.001$ ).

#### 4.25. Утицај различитих врста вакцина на срчану фреквенцу на првом вентилаторном прагу (HR/VT1).

У графикону 14 дат је приказ вредности срчане фреквенце на првом вентилаторном прагу у односу на врсту вакцине код спортиста.

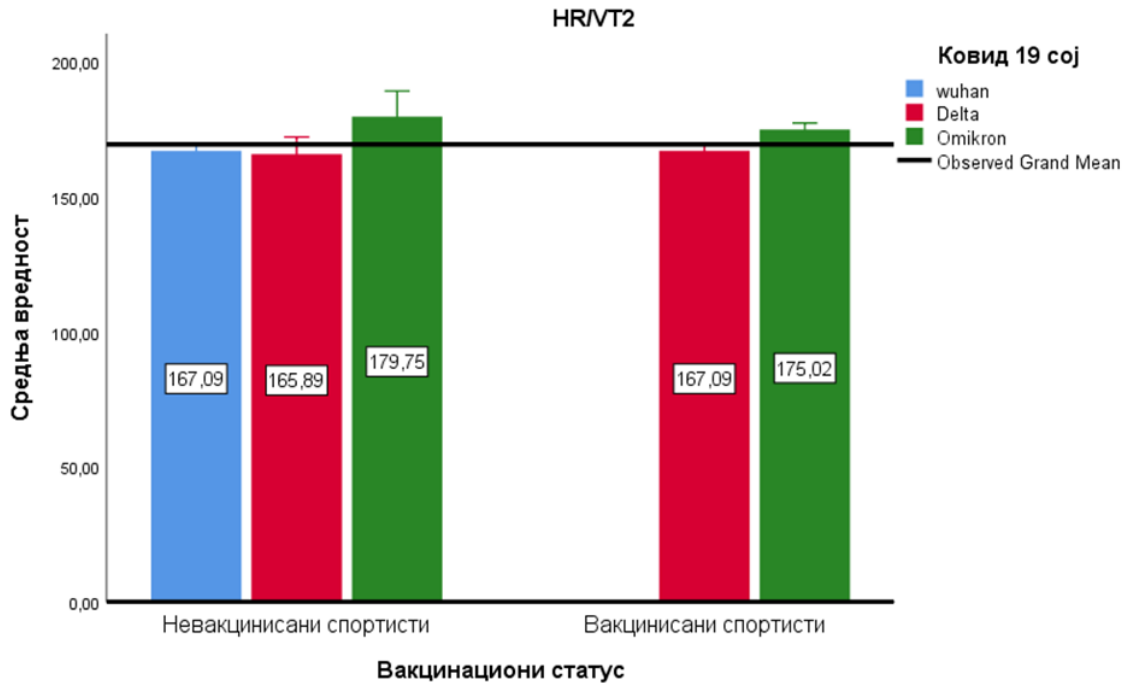


**Графикон 14.** Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце на првом вентилаторном прагу HR/VT1 у односу различите вакцинама код врхунских спортиста. Резултати су представљени као средња вредност .

Графикон 14 приказује вредности HR/VT1 три групе вакцинисаних спортиста, у зависности од врсте примљене вакцине. С обзиром на то да вакцинациони статус није имао статистички значајан утицај на срчану фреквенцу на првом прагу HR/ VT1 ( $p > 0.05$ ), нису примећене значајне разлике ни у овој варијабли код спортиста вакцинисаних различитим вакцинама. Вредности HRVT1 код све три групе су веома сличне, без значајних разлика између њих.

#### 4.26. Утицај различитих сојева SARS CoV-2 и статуса вакцинације на срчану фреквенцу на другом вентилаторном прагу (HR/VAT2)

У графикаону 15 представљене су вредности срчане фреквенце на другом вентилаторном прагу у односу на инфекцију различитим сојевима и на вакцинацију спортиста.

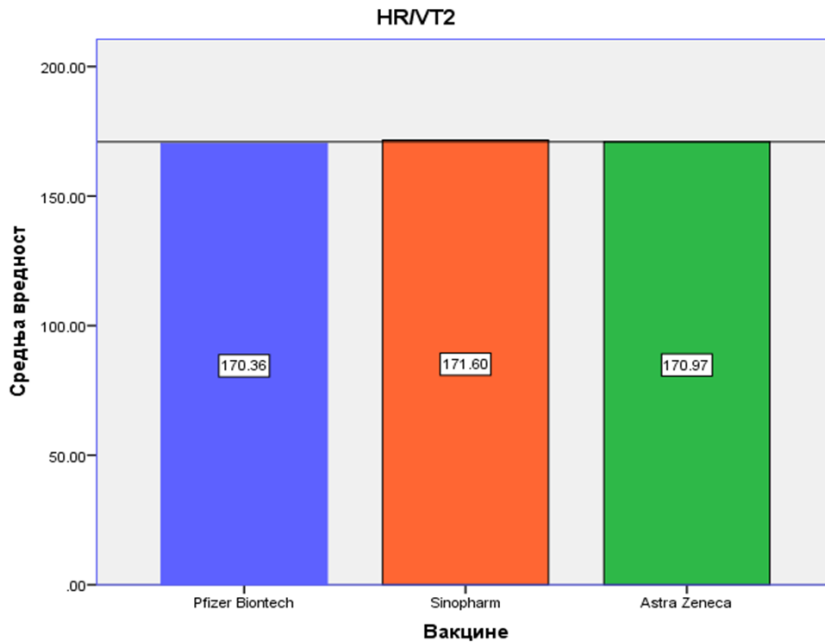


**Графикон 15.** Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце на другом вентилаторном прагу HR/VAT2 у односу на инфекцију различитим сојевима SARS CoV 2 вакцинисаних и невакцинисаних спортиста. Резултати су представљени као средња вредност .

Резултати у графикаону 15 указују на то да сој вируса има средње статистички значајан утицај на срчану фреквенцу на другом прагу (HR/VAT2) код спортиста, док вакцинација нема значајан ефекат на овај параметар. Утицај вакцинације на HR/VAT2 је статистички занемарљив, са веома малим утицајем ( $p=0,560$ ).

#### 4.27. Утицај врсте вакцине на срчану фреквенцу на другом вентилаторном прагу HR/VT2

У Графикону 16 приказане су вредности срчане фреквенце на другом вентилаторном прагу у односу на врсту вакцине.

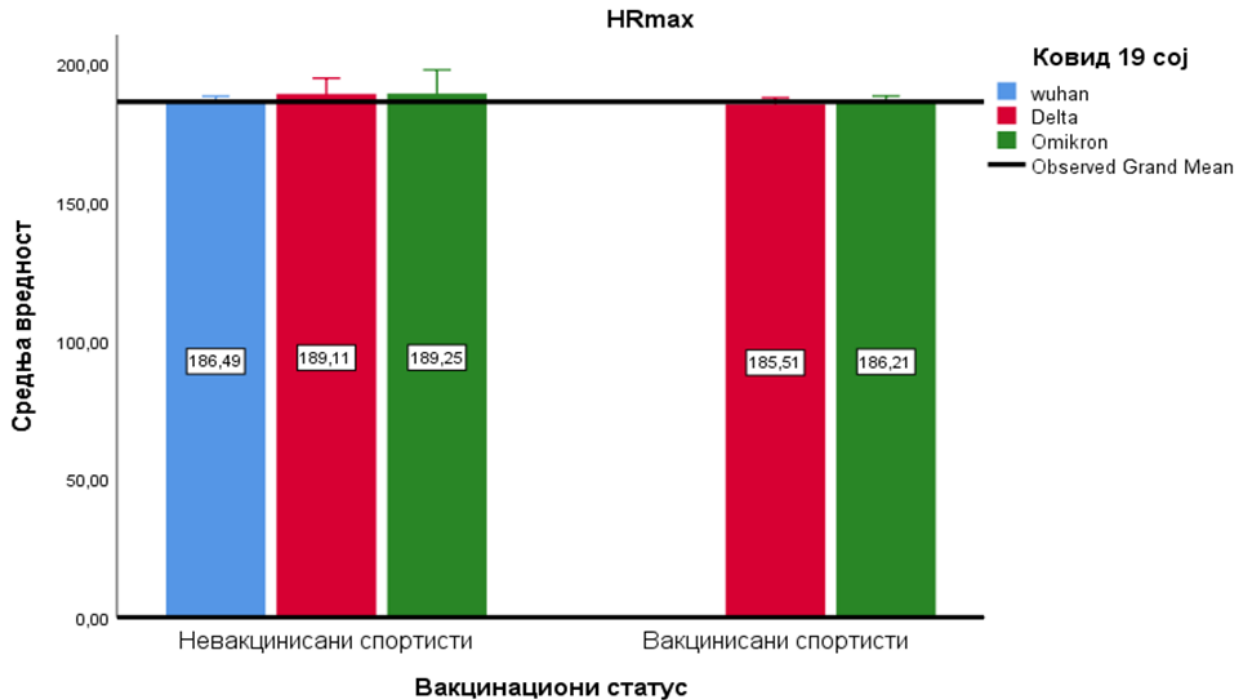


**Графикон 16.** Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце на другом вентилаторном прагу HR/VT2 у односу вакцинацију различитим вакцинама код врхунских спортиста. Резултати су представљени као средња вредност .

Графикон 16 приказује да су вредности срчане фреквенце на другом вентилаторном прагу врло сличне између група спортиста вакцинисаних са три вакцине, што указује на сличан утицај у оквиру ове мере. Sinopharm има највишу просечну вредност, али је разлика минимална у односу на остале вакцине. Овај параметар се налази у сличним границама за све вакцине, што може указивати на то да нема значајне разлике у њиховом утицају на овај специфичан индикатор.

#### 4.28. Утицај врсте соја SARS CoV-2 статуса вакцинације на максималну срчану фреквенцу (HR max)

У графикаону 17 дат је приказ вредности максималне срчане фреквенце код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста.

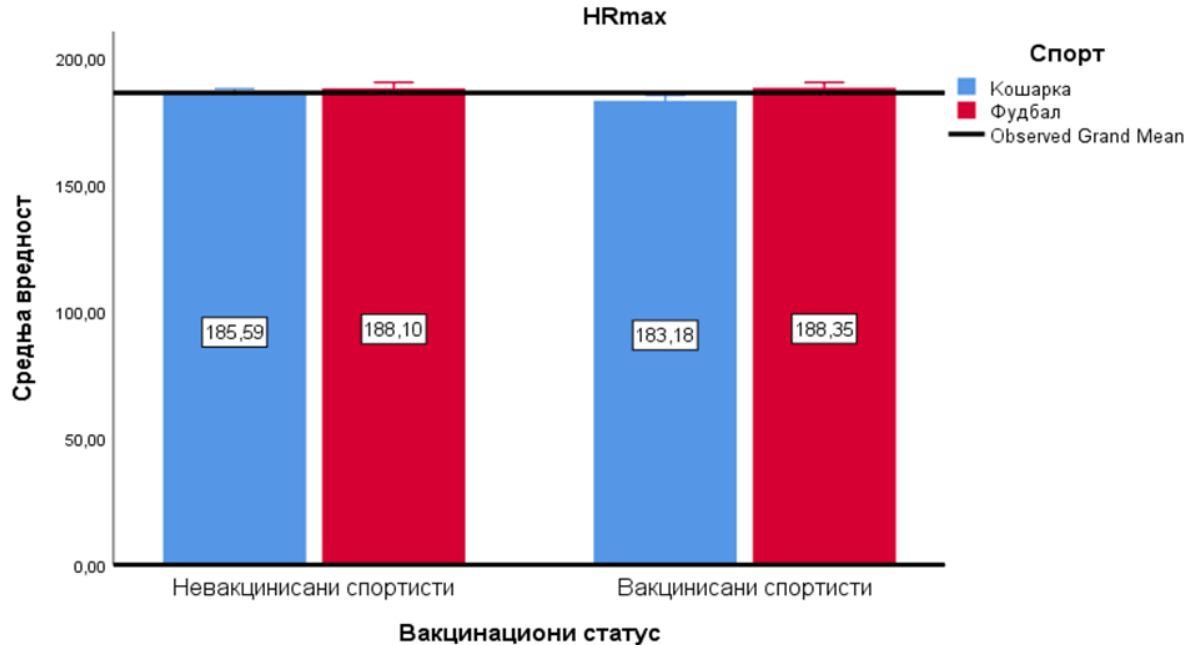


**Графикон 17.** Дистрибуција средње вредности максималне срчане фреквенце (HRmax) у односу инфекцију различитим сојевима SARS CoV 2 вакцинисани и невакцинисани спортисти. Резултати су представљени као средња вредност

Резултати двофакторске ANOVA су показали да интеракција вакцинације и SARS CoV-2 сој нема значајан утицај на максималну срчану фреквенцу (HR max) (Графикон 17). Сама вакцинација спортиста има утицај али не статистички значајан (0,4%,  $p=0,347$ ). Интеракција сој и вакцина нема значајан утицај на HRmax (0,6%;  $p=0,246$ ).

#### 4.29. Утицај врсте спорта и статуса вакцинације на максималну срчану фреквенца (HR max)

У графикону 18 приказане су вредности максималне срчане фреквенце у односу на спорт и статус вакцинације.

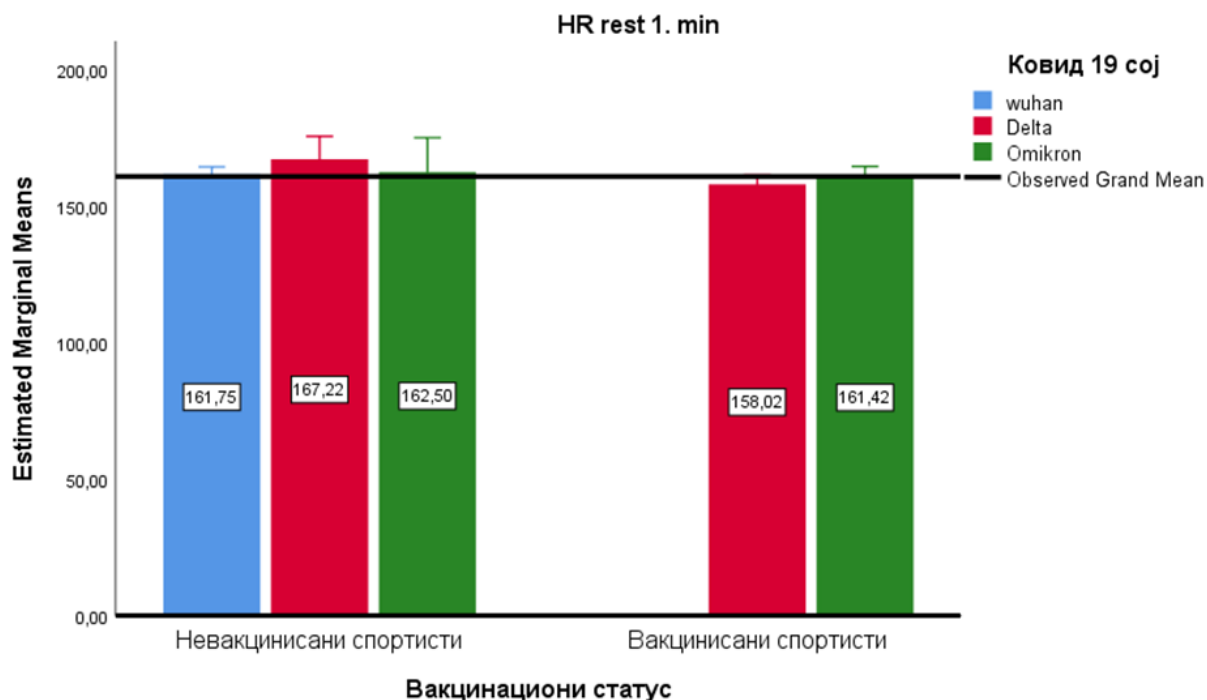


**Графикон 18.** Дистрибуција средње вредности максималне срчане фреквенце (HRmax) у односу на спорт и статус вакцинације. Резултати су представљени као средња вредност

Резултати у графикону 18 указују да вакцинација нема значајан утицај на HRmax спортиста, јер су разлике између група минималне. Међутим, постоје разлике између спортова, при чему фудбалери имају конзистентно веће вредности HRmax у поређењу са кошаркашима. Ово може бити последица различитих физиолошких захтева које ови спортови постављају на кардиоваскуларни систем. Фудбалери у обе групе (вакцинисани и невакцинисани) имају веће вредности HRmax у односу на кошаркаше.

#### 4.30. Утицај врсте соја SARS CoV-2 статуса вакцинације на срчану фреквенцу у првом минути опоравка

На графикону 19 приказане су вредности срчане фреквенце у првом минути опоравка.

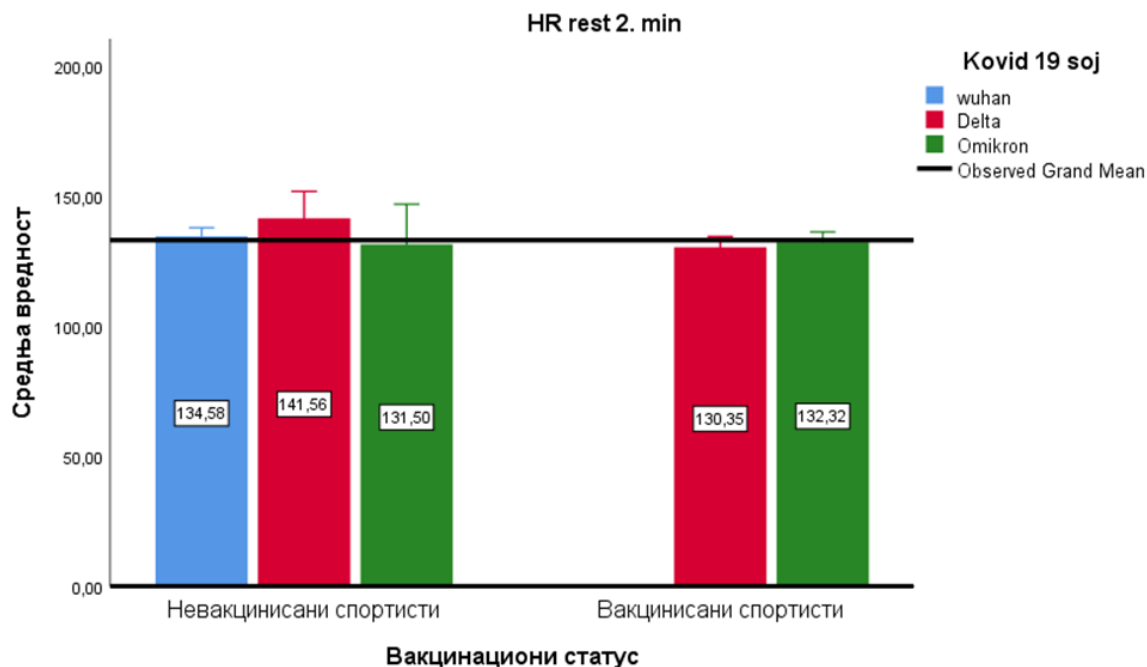


**Графикон 19.** Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце у првом минути опоравка (HR1.min) у односу на сој SARS Cov 2 и статус вакцинације код врхунских спортиста. Резултати су представљени као средња вредност

Резултати двофакторске ANOVA су показали да вакцинација спортиста и Ковид сој немају значајан утицај на опоравак срчане фреквенције у прва три минута након максималног теста оптерећењем, (Графикон 19).

#### 4.31. Утицај врсте соја SARS CoV-2 статуса вакцинације на срчану фреквенцу у другом минути опоравка

У графикону 20 приказане су вредности срчане фреквенце у другом минути опоравка.

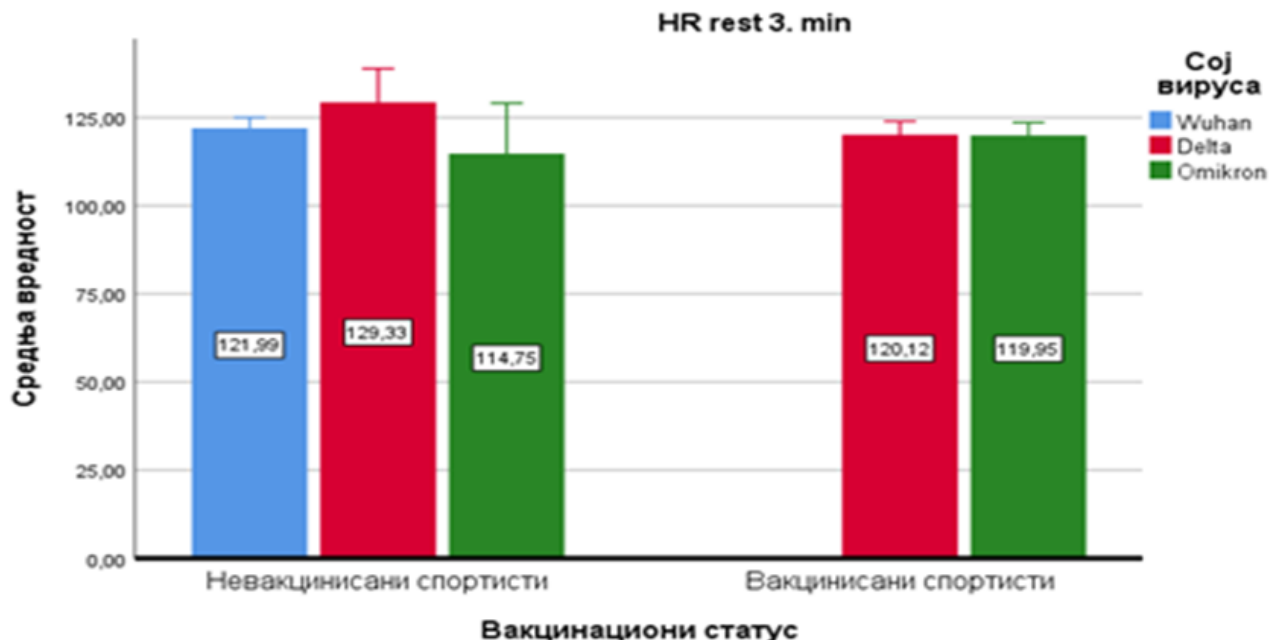


**Графикон 20.** Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце у другом минути опоравка (HR 2. min) у односу на сој SARS Cov 2 и статус вакцинације код врхунских спортиста. Резултати су представљени као средња вредност

Графикон 20 приказује резултате срчане фреквенце у другом минути одмора после максималног теста оптерећењем. Резултати показују да вакцинациони статус и ковид сој немају статистички значајан утицај на овај параметар.

#### 4.32. Утицај врсте соја SARS CoV-2 статуса вакцинације на срчану фреквенцу у трећем минути опоравка

У графикону 21 приказане су вредности срчане фреквенце у трећем минути опоравка.



**Графикон 21.** Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце у трећем минути опоравка (HR 3.min) у односу на сој SARS Cov 2 и статус вакцинације код врхунских спортиста. Резултати су представљени као средња вредност.

Код параметра опоравка срчане фреквенције у трећем минути након максималног теста оптерећењем, (Графикон 21), резултати су показали да невакцинирани спортисти имају нешто веће вредности HR3. Међутим, ова разлика није статистички значајна ( $p=0,240$ ), тако да вакцинациони статус нема значајан утицај на HR3. Истовремено утицај различитих сојева ковида (Wuhan, Delta, Omikron) на HR3 нема статистички значајне разлике у средњим вредностима HR3 између група инфицираних различитим сојевима ( $p=0,509$ ).

## 4.33. Утицај спорта на срчану фреквенцу у прва три минута опоравка

У табели 13 дат је приказ опоравка срчане фреквенције након спроведеног теста оптерећења.

**Табела 13.** Дескриптивна статистика дистрибуције варијабли опоравка срчане фреквенције добијених извођењем СРЕТ-а код испитаника разврстаних по спортовима.

Променљива	Фудбал ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	Кошарка ( $\pm$ SD) $\bar{X}$	P value
N (број)	112	108	/
Starost	22.20 $\pm$ 4.07	23.93 $\pm$ 5.047	/
HR max (бпм)	188.24 $\pm$ 6.96	184.31 $\pm$ 9.79	0.001
HR опоравак (1. минут)	164.08 $\pm$ 11.53	157.65 $\pm$ 13.33	0.000
HR опоравак (2. минут)	136.25 $\pm$ 14.60	129.77 $\pm$ 16.21	0.002
HR опоравак (3. минут)	123.06 $\pm$ 13.02	119.06 $\pm$ 15.821	0.042

**Легенда:** HR max = максимални број откуцаја срца. HR – опоравак (1. мин) = опоравак срчане фреквенце у првом минуту након теста, HR – опоравак (2. мин) = опоравак срчане фреквенце у другом минуту након теста, HR – опоравак (3. мин) = опоравак срчане фреквенце у трећем минуту након теста. Резултати су представљени као средња вредност  $\pm$  стандардна девијација \*—Средња разлика је значајна на нивоу од 0,05.

# **5. ДИСКУСИЈА**

### 5.1. Утицај различитих сојева на функционалне способности вакцинисаних и невакцинисаних професионалних спортиста

Ово истраживање бавило се проценом утицаја различитих сојева SARS-CoV-2 вируса на функционалне способности вакцинисаних и невакцинисаних врхунских спортиста међународног нивоа. Резултати истраживања указују на сложену интеракцију између сојева SARS-CoV-2 вируса и вакцинационог статуса који утичу на функционалне способности врхунских спортиста. Најзначајнији налаз је да сој вируса има већи утицај на кардиореспираторне параметре у поређењу са вакцинацијом, што може да објасни претходне студије које су указале на различиту патогеност и клиничку презентацију различитих сојева вируса (101).

Omicron сој, који је показао најмањи утицај на функционалне способности, вероватно због своје мање патогености и мање изражене тропности за доње респираторне путеве, имао је најмање негативних ефеката на параметре, што иде у прилог студији која је утврдила да Omicron варијанта није негативно утицала на учинак играча у перформансама трчања током сезоне (102).

Разлика између Omicron соја и Wuhan и Delta соја у нашој студији је примећена у параметрима: максимална потрошња кисеоника ( $VO_2 \max$ ), коефицијент респираторне размене (RER), вентилаторна ефикасност ( $VE/VCO_2$ ), кисеонички пулс ( $O_2/HR$ ), као и у срчаној фреквенци на првом и другом вентилаторном прагу (HR на VAT1 и VAT 2). Ово потврђује епидемиолошке податке који сугеришу да Omicron изазива блажи клинички ток у односу на сојеве Wuhan и Delta код којих су ранија истраживања показала већу респираторну патологију (103,104).

Статистички значајне разлике у функционалним параметрима између спортиста инфицираних различитим сојевима вируса указују на то да је Omicron сој имао најмање негативних ефеката на кардиореспираторну спремност као што су показала и ранија истраживања која истичу да овај сој, изазива мање оштећења плућног ткива и мање нарушава аеробни капацитет (105).

Насупрот томе, сојеви Wuhan и Delta показали су значајно веће нарушавање функционалних параметара, што је вероватно последица њихове веће патогености и већег утицаја на респираторни систем. Чињеница да су спортисти инфицирани Omicron сојем имали боље вредности максималне потрошње кисеоника и потрошње кисеоника на првом вентилаторном прагу ( $VO_2 \max$  и  $VO_2$  на VAT1) у поређењу са онима инфицираним Wuhan и Delta сојевима, указује на то да је аеробна економичност била боље очувана код ове групе. Ово може имати важне импликације за спортске перформансе, јер је аеробни капацитет кључан за издржљивост и опоравак током интензивних тренинга и такмичења.

Чињеница да вакцинациони статус није имао значајан утицај на већину параметара, осим на  $VO_2 \max$  (4,5% утицаја) и  $VO_2$  на VAT1 (2,4 % утицаја) указује на то да вакцинација, иако ефикасна у превенцији тешких облика болести, можда не пружа додатне користи у погледу очувања функционалних способности код спортиста након инфекције. Ово може бити последица чињенице да вакцинација првенствено модулише имуни одговор, док функционални параметри зависе од комплекса фактора, укључујући степен оштећења ткива током инфекције и индивидуалне адаптације на физички напор.

Интеракција између вакцинационог статуса и соја вируса била је значајна само за вентилаторну ефикасност ( $VE/VCO_2$ ), што указује на то да ефекат вакцинације зависи од соја вируса. Овај налаз може се објаснити чињеницом да различити сојеви вируса изазивају различите степене респираторних оштећења, што затим утиче на ефикасност вентилације током напора.

## 5.2. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_2 \max$ ) код врхунских спортиста

Код свих испитаника који су прележали инфекцију SARS-CoV-2 уочено је значајно смањење функционалних способности у односу на претходно утврђене вредности. Просечне вредности максималне потрошње кисеоника ( $VO_2 \max$ ) код професионалних фудбалера у овом истраживању кретале су се између 48 и 54 мл/кг/мин, што је значајно испод референтног опсега за професионалне играче, који износи 55–70 мл/кг/мин (43,44).

Најниже просечне вредности  $VO_2 \max$  утврђене су у групи спортиста који су били инфицирани Wuhan сојем вируса (48,4 мл/кг/мин). Код професионалних кошаркаша, према доступној литератури,  $VO_2 \max$  се креће између 50 и 65 мл/кг/мин (41,42.), док је у овој студији забележена просечна вредност од 46,84 мл/кг/мин. Амерички колеџ за спортску медицину (American college of Sports Medicine- ACSM ) наводи да се  $VO_2 \max$  вредности изнад 50 мл/кг/мин сматрају оптималним за професионалне спортисте у тимским спортовима (106).

У овом истраживању, вредности  $VO_2 \max$  код спортиста биле су знатно ниже од референтних, упркос томе што су испитаници били чланови професионалних тимова који се такмиче на високом међународном нивоу и што је већина њих тестирана у самом пику сезоне када би требало да је функционална способност на највишем степену. Посебно је примећено да је у групи спортиста који су били заражени Omicron сојем вируса дошло до напретка у аеробној економији. Ова група је остварила значајно већи  $VO_2 \max$  и ефикаснију употребу кисеоника, што је допринело одлагању појаве анаеробног метаболизма и умора.

Већина спортиста обухваћених овом студијом била је претходно тестирана у склопу редовних спортских прегледа у истом лабораторијском центру у периоду пре пандемије SARS-CoV-2, што је омогућило поређење података функционалних способности. Код свих испитаника је уочен пад функционалних способности у односу на вредности из периода пре инфекције. Ово сугерише дуготрајне последице SARS-CoV-2 инфекције на кардиореспираторне параметре. Већина кардиопулмоналних тестова (CPET) спроведени су у такмичарском делу сезоне, када се очекује врхунска кондиција спортиста. Ипак, резултати су указали на значајан утицај вирусне инфекције и обавезне изолације од 14 дана, што је довело до смањења  $VO_2 \max$  и општег кардиореспираторног капацитета.

Ови налази су у складу са ранијим истраживањима која су показала смањење  $VO_2 \max$  код спортиста након SARS-CoV-2 инфекције (76,77,80). Иако су вредности  $VO_2 \max$  биле ниже од очекиваних у све три групе (Wuhan, Delta и Omicron), уочен је постепени опоравак аеробних способности током пандемије. Спортисти који су били заражени Omicron сојем показали су највећи напредак у  $VO_2 \max$ , као и већу ефикасност у коришћењу кисеоника. Ово је резултирало одлагањем почетка анаеробног метаболизма и бољом укупном издржљивошћу. Упоредивањем аеробног капацитета између група инфицираних Wuhan и Delta сојевима, није утврђена статистички значајна разлика.

Међутим, већи број спортиста из Wuhan групе имао је ниже вредности  $VO_2 \max$  од средњих вредности у Delta групи, што указује на могуће озбиљније дугорочне ефекте Wuhan соја на кардиореспираторну функцију.

### 5.3. Утицај врсте спорта и статуса вакцинације на максималну потрошњу кисеоника ( $VO_2 \max$ ) врхунских спортиста.

На основу добијених резултата, уочено је да су вакцинисани спортисти имали значајно више вредности  $VO_2 \max$  у поређењу са невакцинисаним, што може да укаже на потенцијални позитиван утицај вакцинације на аеробну способност. Подаци говоре да спортисти, који су пре инфекције примили вакцину током пандемије, имали бољу кардиореспираторну адаптацију у поређењу са невакцинисаним спортистима. Ипак, чак и код вакцинисаних спортиста уочено је смањење  $VO_2 \max$  у односу на вредности пре инфекције што се поклапа са претходном студијом која је мерила аеробну способност вакцинисаних спортиста, али два месеца након инфекције и забележила пад од 9,7% у параметру  $VO_2 \max$  (107).

Резултати овог истраживања делимично се поклапају и са студијом која је мерила  $VO_2 \max$  код здравих рекреативних спортиста пре и седам дана након вакцинације против инфекције SARS CoV-2 (108). Иста студија је показала смањење функционалних способности у варијабли  $VO_2 \max$  за 2,7% у поређењу са испитаницима пре вакцинације. Међутим, слична студија која је пратила физиолошки одговор активних здравих особа, које нису имале SARS CoV-2, након превентивне вакцинације није пронашла никакав ефекат вакцине на  $VO_2 \max$ ,  $VE \max$  и RER (92).

Ово указује да сама вакцинација без инфекције вирусом нема негативан утицај на кардиореспираторне способности, док је вирус, чак и различитог соја, и након вакцинације доприноси паду способности. Следствено томе, утицај врсте спорта на  $VO_2 \max$  био је већи у односу на утицај вакцинације, јер је вакцинациони статус имао само два значајна ефекта утицаја на максималну потрошњу кисеоника -  $VO_2 \max$  ( $\eta^2 = 0.045$ ,  $p < 0.01$ , 4.55%) и потрошњу кисеоника на првом вентилаторном прагу -  $VO_2$  на VAT1 ( $\eta^2 = 0.024$ ,  $p < 0.05$ , 2.4%).

Фудбалери, без обзира на статус вакцинације, имали су боље вредности  $VO_2 \max$  у односу на кошаркаше. Ово сугерише да специфичности самог спорта, укључујући физиолошке захтеве и тренажни процес, имају значајнији утицај на аеробни капацитет од вакцинације. Међутим, оно што је важно је да су обе групе имале знатно ниже резултате од вредности здравих спортиста описаних у ранијим студијама (42,42,45).

Иако се показало да вакцинисани спортисти имају статистички значајно веће вредности  $VO_2 \max$  у поређењу са невакцинисанима, што може да указује на потенцијалну заштитну улогу вакцине, ефекат вакцинације био је мањи у поређењу са утицајем врсте спорта (7,5% наспрам 13,7%). То је у складу са ранијим студијама које су показале да фудбалери у просеку имају већи  $VO_2 \max$  од кошаркаша због различитих захтева спорта (46).

Разлика између вакцинисаних спортиста који су примили различите врсте вакцина је уочена, али смо у варијабли максималне потрошње кисеоника ( $VO_2 \max$ ). Примећено је да спортисти вакцинисани Sinopharm факцином имају виши ниво аеробне способности ( $52,35 \pm 4,134$  мл/кг/мин) у односу на спортисте вакцинисане Pfizer-BioNTech вакцином ( $48,38 \pm 4,546$ ) и AstraZeneca вакцином ( $48,49 \pm 4,494$ ).

Ова разлика у  $VO_2$  max између различитих вакцина може се потенцијално објаснити тиме да постоје различити степен инфламаторног одговора, утицаја на ендотелну функцију и могућих разлика у митохондријалном метаболизму. Sinopharm, као вакцина са мање израженим имуним одговором, можда мање утиче на аеробни капацитет у поређењу са мРНА и векторским вакцинама (109). Вакцине које изазивају јачи имуни одговор (Pfizer-BioNTech и AstraZeneca) могу довести до привремене активације имуног система и повећане продукције цитокина, што може утицати на енергетски метаболизам, капацитет транспорта кисеоника и перформансе. Код Sinopharma, мањи инфламаторни одговор може резултирати мањим утицајем на мишићну функцију и бољом оксигенацијом током напора.

#### **5.4. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 и вакцинације на аеробну економичност – потрошњу кисеоника на првом вентилаторном прагу ( $VO_2$ на $VAT_1$ )**

Код параметра потрошње кисеоника на првом вентилаторном прагу, резултати показују да сој вируса има значајан утицај на аеробну економичност. Утицај соја вируса објашњава 6,1% варијабилности  $VO_2/VAT_1$ , што се сматра средње значајним. Спортисти инфицираним Omicron сојем који су показали најбоље вредности  $VO_2$  на  $VAT_1$  ( $30,45 \pm 4,41$  мл/кг/мин) у односу на спортисте из групе Wuhan ( $26,15 \pm 4,70$  мл/кг/мин) и Delta ( $24,90 \pm 3,77$  мл/кг/мин).

Ово је такође у складу са хипотезом да Omicron изазива мање оштећења мишићног и респираторног система, што омогућава бољу ефикасност у коришћењу кисеоника током напора. Практично гледано спортисти инфицирани Omicron сојем касније су улазили у анаеробни напор током теста оптерећења и успели су да у дужој мери користе кисеоник као примарни извор енергије за рад.

Вакцинација је имала мали (2,8 %) али значајан утицај на овај параметар, што указује на њену потенцијалну улогу у очувању функционалних способности. Вакцинисани спортисти имали су много бољу потрошњу кисеоника при достизању првог вентилаторног прага ( $28,80$  мл/кг/мин наспрам  $25,10$  мл/кг/мин), што објашњава да су вакцинисани спортисти имали већи лимит оптерећења који може бити одржив током дужег периода.

С обзиром на то да је утицај вакцинације имао мали значај, код поређења утицаја врста вакцина на вредности кисеоника на прагу вентилаторне анаеробне метаболичке активности ( $VO_2$  на  $VAT_1$ ) није примећена статистички значајна разлика. Вредности су биле сличне код свих испитаника у групама Pfizer-BioNTech, Sinopharm и AstraZeneca. Објашњење може да се пронађе у томе да се различите вакцине разликују по имунолошком одговору, али је њихова улога у очувању аеробног капацитета након инфекције изгледа слична (110).

Pfizer-BioNTech, Sinopharm и AstraZeneca вакцине пружају одређени ниво заштите, смањујући озбиљност болести и спречавајући дуготрајне ефекте COVID-19 на функционални капацитет. Постоји могућност да није била довољно велика разлика у степену имуног одговора између различитих вакцина да би се рефлектовала у аеробној ефикасности као и у осталим функционалним параметрима код спортиста.

### 5.5. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 и вакцинације на вентилаторну ефикасност (VE/VCO<sub>2</sub>)

Интеракција између вакцинационог статуса и соја вируса била је значајна за вентилаторну ефикасност. Ово је вероватно последица различитих механизма респираторних оштећења изазваних различитим сојевима. Резултати показују врло значајну интеракцију вакцинационог статуса и соја вируса ( $p < 0,001$ ) и средње значајне ефекте на VE/VCO<sub>2</sub> ( $\eta^2 = 0.073$ , 7.3%), што значи да ефекат вакцинације зависи од соја вируса.

Такође су значајни ефекти утицаја соја вируса на VE/VCO<sub>2</sub> ( $\eta^2 = 0.028$ ,  $p < 0.05$ , 2.8%), док само вакцинациони статус нема значајан утицај и ефекте на VE/VCO<sub>2</sub> (0.3%). Иако је ефикасност вентилације била унутар нормалних вредности (VE/VCO<sub>2</sub> између 20 и 30 мл) као што је описано раније у литератури (22), у све три студијске групе, примећено је да су спортисти који су били заражени варијантом соја Omicron имали повишене потребе за вентилацијом за даги ниво вежбања у поређењу са учесницима из Wuhan и Delta групе, што доводи до компензаторне хипервентилације. То значи да њихов респираторни систем прекомерно реагује, што доводи до веће вредности овог параметра.

Највишу вредност VE/VCO<sub>2</sub> код укупног узорка имају невакцинисани спортисти са сојем Omicron (28,60-1,04), значајно вишу него у групи вакцинисаних спортиста. Ипак, вредности нагиба криве вентилаторне ефикасности спортиста (VE/VCO<sub>2</sub>) биле су значајно ниже у каснијим фазама пандемије, што указује да су вентилациони захтеви за одређени ниво напора били смањени. Истовремено, невакцинисани спортисти инфицирани Delta сојем показали су најниже вредности вентилаторне ефикасности (23,36-1,04), што у овој ситуацији не мора да предстаља бољи учинак. Delta варијанта вируса је позната по озбиљнијим оштећењима плућа, укључујући запаљенске процесе, алвеоларну дисфункцију и потенцијалну микрофиброзу. Ако су алвеоле оштећене, то значи да је размена гасова мање ефикасна, па спортисти не могу елиминисати CO<sub>2</sub> како би требало.

Смањена способност елиминације CO<sub>2</sub> може довести до рефлексне депресије респираторног одговора, што се манифестује као мањи вентилаторни одговор, што је у складу са претходним студијама које су указале на већу респираторну патологију код овог соја (110). Код интеракције вакцина/сој вишу вредност вентилационе ефикасности показали су управо спортисти инфицирани Делта сојем и вакцинисани са вакцином Pfizer-BioNTech (26,78-2,94), али без статистичке значајности у односу на спортисте вакцинисане Pfizer-BioNTech вакцином код Omicron соја (26,07- 4,00). Ово се може објаснити тиме да вакцина Pfizer-BioNTech заснована на mRNA технологији и познато је да изазива снажан имунолошки одговор и може допринети бољој васкуларној реактивности што побољшава однос вентилације и перфузије (111).

Delta сој је имао већу способност изазивања упалних процеса, што је код вакцинисаних спортиста могло довести до израженије имунолошке адаптације и потенцијалног побољшања плућне функције током опоравка. Најнижу вредност имали су спортисти са сојем Omicron и вакцинисани Sinopharm вакцином (23,75-2,82). Иако се у званичним препорукама код здравих особа, наглашава да су ниже вредности боље, у овом контексту код инфекције вирусом, то може да укаже на то да је вентилаторни систем компромитован, што није пожељно. У поређењу са mRNA вакцинама (попут Pfizer-BioNTech), Sinopharm обично индукује слабији и краће трајни одговор Т-ћелијског имунитета, који је кључан за дугорочну заштиту и контролу репликације вируса у организму (112).

Истовремено, Omicron сој SARS-CoV-2 вируса има велики број мутација на S-proteinu, што му омогућава да избегне имунитет стечен претходним инфекцијама и вакцинацијом. Пошто Sinopharm вакцина ствара доминантно антитела против оригиналног соја вируса, њена ефикасност против Omicrona је значајно смањена, што може довести до слабијег имунолошког одговора.

### **5.6. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 на коефицијент респираторне размене гасова (RER) код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста.**

У циљу испитивања анаеробне издржљивости спортиста инфицираних различитим сојевима SARS-CoV-2, пратили смо коефицијент респираторне размене гасова (RER) код спортиста изложених сојевима Wuhan, Delta и Omicron. Резултати су показали да вакцинација спортиста и сој вируса немају значајан утицај на RER. Међутим, резултати указују да појединачно врста ковид соја и врста спорта (фудбал и кошарка) имају значајан утицај на RER ( $p < 0,01$ ). Уочена је статистички значајна разлика између постигнутих вредности на крају теста при упоређивању сојева Wuhan и Omicron, као и Delta и Omicron ( $p < 0,01$ ).

Током периода доминације сојева Wuhan и Delta, примећен је изражен метаболички умор, што се огледа у значајно вишим максималним вредностима RER на крају кардиопулмоналног теста напором (CPET) у односу на групу спортиста изложених Omicron соју. Ово би се потенцијално могло објаснити смањеним бројем митохондрија на нивоу мишићних ћелија и самим тим слабијом способношћу адекватног коришћења кисеоника за производњу АТП-а.

Најновија истраживања везана за пандемију указују на потенцијал корона вируса да оштети митохондрије као главне органеле кисеоника (113,114). Смањен број митохондрија на нивоу мишићних ћелија тако може објаснити поремећену оксидативну фосфорилацију на нивоу ћелије. Поред тога, само неколико студија се бавило утицајем различитих сојева вируса на релевантне клиничке параметре код пацијената са SARS CoV-2. Резултати једног таквог истраживања показали су да сој Wuhan неповољније утиче на процес еритропоезе и доводи до израженије хипоксије код пацијената са SARS CoV-2 у поређењу са другим варијантама овог вируса у каснијим фазама пандемије (61).

Вакцинациони статус није имао ефекте утицаја на однос респираторне размене гасова (RER), а разлике у овом параметру није било код испитаника који су вакцинисани са три различите вакцине. Надаље, однос између повишених вредности RER и снижених прагова вентилације на вентилаторним праговима указује на метаболичке адаптације условљене различитим сојевима.

Сумирајући добијене резултате, може се закључити да вакцинација против SARS-CoV-2 нема значајан утицај на анаеробни одговор током напора и опоравка код спортиста, док сој вируса може имати одређене ефекте, на RER. Најизраженије разлике примећене су између спортиста инфицираних Omicron сојем у односу на оне заражене Wuhan и Delta сојевима.

Ово би могло да објасни много веће максималне вредности респираторне размене гасова (RER) и продужени анаеробни замор током CPET-а. Промене спољашњег дисања повезане са хипоксијом су први објективни показатељи клиничког знака респираторне инсуфицијенције након SARS CoV-2 инфекције (115,116).

Осим тога, врста спорта показала се као значајан фактор у опоравку срчане фреквенце, што је очекивано с обзиром на различите физиолошке захтеве различитих спортских дисциплина. Будућа истраживања требало би да обухвате већи узорак спортиста како би се боље разумели дугорочни ефекти вирусних инфекција на кардиоваскуларне параметре и њихова повезаност са вакцинацијом.

### **5.7. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 на кисеонички пулс (O<sub>2</sub>/HR) вакцинисаних и невакцинисаних спортиста**

На основу добијених резултата, може се закључити да вакцинација нема значајан утицај на вредности кисеоничког пулса (O<sub>2</sub>/HR) код спортиста, с обзиром на врло мали проценат варијабилности који објашњава (0,5%) и одсуство статистички значајне разлике ( $p=0,301$ ). Са друге стране, сој вируса има гранично средњи статистички значајан утицај на O<sub>2</sub>/HR (5,3%,  $p<0,003$ ), што указује на то да различити сојеви SARS-CoV-2 могу довести до физиолошких разлика у кардиореспираторној функцији спортиста. Вредности кисеоничког пулса (O<sub>2</sub>/Hr) су такође биле унутар нормалних вредности за професионалне спортисте ( $> 20$  ml/beat) описане у литератури (13). Ипак, подаци сугеришу да спортисти инфицирани Omicron сојем имају више вредности кисеоничког пулса у поређењу са онима који су били инфицирани сојевима Wuhan и Delta.

Овај налаз може указивати на мањи утицај Omicron соја на кардиоваскуларни систем у поређењу са претходним варијантама вируса, што је у складу са претходним истраживањима која су показала да Omicron сој доводи до блажих симптома и мањег оптерећења респираторног система (103). Додатно, резултати нису показали значајне разлике у вредностима O<sub>2</sub>/HR између вакцинисаних и невакцинисаних спортиста, као ни између спортиста вакцинисаних различитим врстама вакцина ( $p>0,05$ ). Ово указује да сама вакцинација не утиче директно на овај параметар функционалних способности спортиста, већ да већи утицај има специфична варијанта вируса којој су били изложени.

Међутим, спортисти који су патили од инфекције током периода доминације соја Wuhan и Delta имали су рани прелазак са аеробних на анаеробне метаболичке путеве за добијање АТФ-а. Истовремено, вентилаторни прагови су постигнути при значајно нижим откуцајима срца и нивоима физичког интензитета у поређењу са спортистима из групе Omicron, што упућује да су раније улазили у метаболички замор, што се поклапа са студијом која је истакла утицај вируса на ћелијске митохондрије (117).

Свеукупно, добијени резултати потврђују да је фактор соја вируса значајнији у објашњењу варијација кисеоничког пулса код спортиста у односу на фактор вакцинације, што би могло имати важне импликације за процену опоравка и прилагођавање тренажних процеса након инфекције SARS-CoV-2.

### **5.8. Утицај различитих сојева на параметре срчане фреквенце (HR) на вентилаторним праговима код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста.**

Резултати овог истраживања указују да вакцинација нема значајан утицај на параметре срчане фреквенције током физичког напора и опоравка код спортиста, док сој вируса може имати одређене ефекте на кардиоваскуларне одговоре. При анализи срчане фреквенце на првом вентилаторном прагу (HR/VAT1), уочено је да различити сојеви вируса имају средње статистички значајан утицај на овај параметар ( $\eta^2= 0.089$ ,  $p<0,001$ ), док вакцинација није показала значајан ефекат ( $\eta^2= 0.001$ ,  $p > 0.05$ ).

Значајне разлике у HR/VAT1 између спортиста инфицираних различитим сојевима указују на могући утицај соја вируса на кардиоваскуларну функцију током физичког напора. Посебно је приметно да спортисти инфицирани сојем Omicron имају значајно веће вредности HR/VAT1 у поређењу са онима који су били заражени Wuhan или Delta сојем. Слични трендови су примећени и код срчане фреквенције на другом вентилаторном прагу (HR/VAT2), где је утицај соја вируса био статистички значајан (5,9%;  $p < 0,002$ ), док вакцинација није имала мерљив ефекат (0,2%;  $p = 0,560$ ).

Ово додатно указује на то да различити сојеви вируса могу довести до физиолошких промена које утичу на кардиоваскуларну адаптацију спортиста током физичког напора. Поред тога, интеракција између вакцинације и соја вируса није била статистички значајна ( $p = 0,329$ ), што сугерише да ефекат вируса делује независно од имунолошког статуса спортиста.

Код поређења срчане фреквенце у периоду опоравка након максималног теста оптерећења, резултати су показали да ни вакцинација ни сој вируса немају значајан утицај на брзину опоравка срчане фреквенце у прва три минута након теста. Врста спорта је, међутим, показала статистички значајан утицај на све три мере срчане фреквенце у периоду опоравка (HR1, HR2, HR3).

Највеће вредности HR1 уочене су код спортиста који се баве спортовима високог интензитета, попут фудбала, што може указивати на већи физиолошки стрес током оптерећења и спортисти опоравка у поређењу са другим спортовима. Разлика између фудбалера и кошаркаша у HR3 је била статистички значајна ( $p = 0,042$ ), што додатно наглашава утицај спортске дисциплине на кардиоваскуларни одговор након напора.

Упркос томе што вакцинација није имала значајан утицај на срчану фреквенцу током напора и опоравка, вреди напоменути да су  $p$ -вредности за одређене параметре биле близу границе значајности ( $p = 0,087$  за HR1 и  $p = 0,201$  за HR2). Ово може сугерисати да у већем узорку или у комбинацији са другим факторима, вакцинација може имати изврстан ефекат на срчану фреквенцу, али је потребно додатно истраживање како би се ова хипотеза потврдила. Сумирајући добијене резултате, може се закључити да вакцинација против SARS-CoV-2 нема значајан утицај на кардиоваскуларне одговоре током напора и опоравка код спортиста, док сој вируса може имати одређене ефекте, посебно на срчану фреквенцу на првом и другом вентилаторном прагу.

Најизраженије разлике примећене су између спортиста инфицираних Omicron сојем у односу на оне заражене Wuhan и Delta сојевима. Осим тога, врста спорта показала се као значајан фактор у опоравку срчане фреквенце, што је очекивано с обзиром на различите физиолошке захтеве различитих спортских дисциплина. Будућа истраживања требало би да обухвате већи узорак спортиста како би се боље разумели дугорочни ефекти вирусних инфекција на кардиоваскуларне параметре и њихова повезаност са вакцинацијом.

## **5.9. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 на ехокардиографске параметре спортиста након инфекције**

Пре почетка тестирања спортиста сваком испитанику урађен је ехокардиографски преглед (ултразвук срца) како би се утврдила евентуална оштећења срчане функције што би била контраиндикација за спровођење ергоспирометријског тестирања. Сви спортисти су имали уредне налазе, а добијени резултати показују минималне разлике између група, при чему су сви параметри остали унутар физиолошких граница за здраву спортску популацију (118).

Средње вредности срчане фреквенце (HR) показале су благу тенденцију опадања од Wuhan ( $59,4 \pm 11,60$  bpm) до Omicron соја ( $55,82 \pm 10,65$  bpm). Иако су ове разлике статистички незнатне, оне могу указивати на постепено мањи утицај вируса на аутономну регулацију срца код особа инфицираних новијим сојевима. Ово је у складу са хипотезом да је Omicron сој мање вирулентан у односу на претходне варијанте.

Код систолног крвног притиска (SBP), спортисти заражени Delta сојем имали су благо више вредности ( $119,4 \pm 8,26$  mmHg) у поређењу са Wuhan ( $117,8 \pm 7,80$  mmHg) и Omicron ( $116,5 \pm 7,60$  mmHg) групом. Дијастолни притисак (DBP) остао је стабилан у свим групама, са минималним варијацијама. Ови резултати указују на то да инфекција није довела до значајних хемодинамских промена. Крајњи дијастолни пречник десне коморе (RVd) остао је конзистентан у свим групама ( $\approx 24$  mm), што указује да ниједан сој SARS-CoV-2 није изазвао дилатацију десне коморе код спортиста. Дебљина интервентрикуларног септума (IVSd) била је најнижа у групи зараженој Delta сојем ( $9,6 \pm 1,89$  mm), док је код Wuhan и Omicron соја била нешто већа ( $10,1 \pm 2,0$  mm и  $10,4 \pm 1,79$  mm). Мала разлика може бити случајна варијација или указивати на незнатно различите нивое инфламације миокарда између сојева.

Дијаметар леве коморе у дијастоли (LVDd) и систоли (LVSD) показао је благо повећање од Wuhan до Omicron. Ово може сугерисати бољу срчану адаптацију на стрес након инфекције код оних који су прележали новије варијанте вируса. Фракција избацивања (EF) представља један од најважнијих индикатора систолне функције леве коморе. Просечне вредности у свим групама биле су изнад 60%, што указује на очувану систолну функцију код свих испитаника.

Највиша просечна EF забележена је у Omicron групи ( $61,8 \pm 6,46\%$ ), што може указивати на бољу контрактилну функцију леве коморе у овој групи спортиста. Резултати показују да, у спортској популацији, инфекција SARS-CoV-2 није довела до значајних промена у ехокардиографским параметрима, без обзира на варијанту вируса. Ови налази су у складу са претходним истраживањима која су показала да је срчана функција код физички активних особа мање погођена након прележане инфекције у односу на општу популацију (119,120).

#### **5.10. Утицај различитих сојева SARS-CoV-2 на инфламаторне и срчане маркере спортиста након инфекције.**

У овој студији пре почетка спровођења тестирања анализирани су инфламаторни и срчани биомаркери код спортиста након инфекције различитим сојевима SARS-CoV-2 (Wuhan, Delta и Omicron). Резултати указују на умерене разлике у нивоу ових биомаркера између варијанти вируса, при чему су све измерене вредности остале у оквиру референтних граница.

CRP (C-реактивни протеин) је маркер системске инфламације и често се користи за процену степена запаљенског одговора у организму. Утврђено је да су просечне вредности CRP биле нешто више код спортиста који су прележали инфекцију сојем Omicron ( $3,08 \pm 1,05$  mg/L) у поређењу са Wuhan ( $2,68 \pm 1,20$  mg/L) и Delta ( $2,72 \pm 0,63$  mg/L) сојем. Иако су ове вредности унутар нормалног опсега ( $< 10$  mg/L), благо повишен CRP код Omicron може указивати на нешто дужи инфламаторни одговор у овој групи испитаника.

Ова разлика би могла бити резултат специфичности имунолошког одговора на Omicron сој или веће распрострањености блажих али дуготрајнијих симптома код ове варијанте. D-димер је важан биомаркер за процену ризика од тромбозе, посебно након вирусних инфекција. Утврђено је да су вредности D-димера биле најниже код спортиста који су прележали инфекцију Wuhan сојем ( $0,17 \pm 0,80$  mg/L FEU), док су код Делта ( $0,22 \pm 0,86$  mg/L FEU) и Omicron ( $0,23 \pm 0,60$  mg/L FEU) соја биле благо повећане, али и даље испод граничне вредности од  $0,50$  мг/Л FEU. Ово сугерише да, у групи физички активних појединаца, SARS-CoV-2 није довео до значајне хиперкоагулабилности.

Срчани биомаркери су показали сличан образац. nt-pro BNP, који је индикатор срчаног стреса и вентрикуларне дисфункције, био је нешто виши код спортиста заражених Delta сојем ( $18,40 \pm 4,43$  pg/mL) у односу на Wuhan ( $16,54 \pm 5,71$  pg/mL) и Omicron ( $17,21 \pm 5,68$  pg/mL) сојеве. Ипак, све вредности су биле значајно испод граничне вредности од  $125$  pg/ml што указује да код испитаника није дошло до значајног срчаног оптерећења након инфекције.

Највећа стабилност међу свим анализираним биомаркерима примећена је код hs-cTnT (високосензитивни срчани тропонин Т), чије су вредности остале у веома уском распону међу варијантама вируса (Wuhan:  $4,30 \pm 3,01$   $\mu$ g/L, Delta:  $4,59 \pm 1,89$   $\mu$ g/L, Omicron:  $4,42 \pm 1,40$   $\mu$ g/L), далеко испод граничне вредности од  $10$   $\mu$ g/L. Ово указује да код спортиста након SARS-CoV-2 инфекције није дошло до значајног оштећења миокарда.

Ови резултати сугеришу да, иако SARS-CoV-2 инфекција може довести до благих промена у инфламаторним и срчаним биомаркерима, код физички активних особа ове промене нису клинички значајне. Чињеница да су све вредности остале унутар референтних опсега указује на добру адаптацију организма спортиста и потврђује значај физичке активности у очувању кардиоваскуларног здравља након вирусних инфекција.

## **6. ЗАКЉУЧАК**

Ово истраживање показало је да различити сојеви SARS-CoV-2 вируса имају различите ефекте на функционалне способности врхунских спортиста, при чему је Omicron сој имао најмање негативних последица. Овим је одбачена нулта хипотеза која је гласила да неће бити разлике у функционалним способностима код спортиста инфицираних различитим сојевима вируса, а прихваћена алтернативна хипотеза која је тврдила ће постојати разлике.

Истовремено прохваћене су и помоћне хипотезе које тврде да ће бити разлике код испитаника у анаеробним и аеробним способностима као и између вакцинисаних и невакцинисаних спортиста. Највећи утицај на кардиореспираторне параметре имао је сам сој вируса, док је утицај вакцинације био мање изражен. Иако је вакцинација била ефикасна у превенцији тежих облика болести, није значајно допринела очувању функционалних способности, осим у домену максималне потрошње кисеоника ( $VO_2 \max$ ) и аеробне економичности ( $VO_2$  на VAT1). Најниже вредности  $VO_2 \max$  утврђене су код спортиста инфицираних Wuhan сојем, док су они који су прележали Omicron имали најбоље очуване кардиореспираторне параметре.

Вакцинисани спортисти су у просеку имали нешто боље резултате у односу на невакцинисане, али је специфичност спорта имала јачи утицај на  $VO_2 \max$  него вакцинациони статус. Фудбалери су у овом истраживању показали боље вредности  $VO_2 \max$  у односу на кошаркаше, што указује на значај физиолошких захтева спорта у односу на спољне факторе попут вакцинације. Упркос томе што су све групе спортиста показале смањење  $VO_2 \max$  у односу на пред-пандемијске вредности, уочен је постепени опоравак аеробних способности како је пандемија одмицала.

Спортисти инфицирани Omicron сојем показали су највећи напредак у аеробној економичности, што је резултирало ефикаснијим коришћењем кисеоника и одлагањем појаве умора. Ови налази указују на потребу за индивидуализованим програмима рехабилитације након COVID-19 инфекције, као и на значај континуираног праћења функционалних способности код спортиста који су прележали вирус.

### Генерални закључци:

1. Сој вируса има већи утицај на функционалне способности него вакцинација – Највеће разлике у кардиореспираторним параметрима примећене су између различитих сојева SARS-CoV-2, при чему је Омикрон имао најмањи негативан утицај, док су Вухан и Делта сојеви значајно нарушавали функционалне способности спортиста.

2. Омикрон сој узрокује најмање смањење аеробног капацитета – Спортисти заражени Omicron сојем имали су боље вредности  $Vo_2 \max$  и  $Vo_2$  на VAT1 у поређењу са онима зараженим Wuhan и Delta сојевима, што се може објаснити мањом патогеношћу Omicrona и његовом слабијом афинитетом за доње дисајне путеве.

3. Вакцина не штити значајно функционалне способности, али има позитиван ефекат – Иако вакцинација смањује ризик од тешких облика болести, њен утицај на очување кардиореспираторних параметара код спортиста био је ограничен, са значајним ефектима само на  $Vo_2 \max$  и  $Vo_2$  на VAT1.

4. Вакцинисани спортисти имали су боље вредности  $\text{VO}_2 \text{ max}$  од невакцинисаних – Иако је код свих спортиста дошло до смањења аеробног капацитета после прележане инфекције, вакцинисани су имали нешто боље вредности  $\text{Vo}_2 \text{ max}$  у односу на невакцинисане, што указује на могућу заштитну улогу вакцине у очувању функционалних способности.

5. Аеробна способност спортиста генерално је опала након SARS-CoV-2 инфекције – Без обзира на сој вируса и статус вакцинације, примећен је пад  $\text{Vo}_2 \text{ max}$  код свих испитаника у односу на референтне вредности за професионалне спортисте. Највеће смањење  $\text{Vo}_2 \text{ max}$  примећено је код спортиста заражених Wuhan сојем.

6. Специфичности спорта имају већи утицај на аеробни капацитет од вакцинације – Фудбалери су имали боље вредности  $\text{Vo}_2 \text{ max}$  у поређењу са кошаркашима, независно од вакцинационог статуса, што указује да је природа спорта кључни фактор у очувању аеробне способности.

7. Дугорочне последице инфекције на функционалне способности – Иако се примећује постепени опоравак аеробног капацитета, снижене вредности  $\text{Vo}_2 \text{ max}$  код свих група сугеришу дуготрајан ефекат SARS-CoV-2 инфекције на кардиореспираторну спремност спортиста.

8. Вакцина има мали, али значајан утицај на вентилаторну ефикасност ( $\text{VE}/\text{VCO}_2$ ) – Примећено је да је интеракција између вакцинације и соја вируса била значајна само за вентилаторну ефикасност, при чему су вакцинисани спортисти имали нешто боље вредности, али је кључни фактор ипак био сој вируса.

#### **Додатна објашњења и импликације**

1. Фактори који утичу на резултате: Треба узети у обзир да су други фактори, попут нивоа физичке кондиције спортиста пре инфекције, старости и преегзистентних здравствених проблема, могли утицати на резултате. На пример, спортисти са вишим нивоима кондиције су показали бољи опоравак, што је важно за интерпретацију резултата.

2. Психолошки аспект: Такође, психолошки фактори, попут стреса због болести или социјалних и економских фактора, могу играти значајну улогу у опоравку спортиста, што може објашњавати разлике у резултатима између различитих спортиста.

3. Практичне импликације: Ови налази су важни за спортску медицину јер могу помоћи у обликовању стратегија за повратак спортиста у пуну активност након инфекције. На основу резултата, могла би се препоручити различита рехабилитациона протокола за вакцинисане и невакцинисане спортисте, као и за оне који су прележали различите сојеве вируса.

# **7. ЛИТЕРАТУРА**

1. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Essentials of exercise physiology. Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
2. Wilmore JH, Costill DL, Kenney WL. Physiology of sport and exercise. Human kinetics; 2008.
3. Guyton, Arthur; Hall, John (2000). Guyton Textbook of Medical Physiology (10 izd.). ISBN 978-0-7216-8677-6.
4. Betts, J. Gordon (2013). Anatomy & physiology. str. 787—846. ISBN 978-1-938168-13-0.
5. Boron, Walter F. (2004). Medical Physiology: A Cellular And Molecular Approach. Elsevier/Saunders. ISBN 978-1-4160-2328-9.
6. Opondo, Mildred A., Satyam Sarma, and Benjamin D. Levine. "The cardiovascular physiology of sports and exercise." Clinics in Sports Medicine 34.3 (2015): 391-404.
7. Golbidi, Saeid, and Ismail Laher. "Exercise and the cardiovascular system." Cardiology research and practice 2012 (2012).
8. Renshaw, Ian, and Jia-Yi Chow. "A constraint-led approach to sport and physical education pedagogy." Physical Education and Sport Pedagogy 24.2 (2019): 103-116.
9. Katz, Arnold M. Physiology of the Heart. Lippincott Williams & Wilkins, 2010.
10. Hossain, Amzad, et al. "Wavelet and spectral analysis of normal and abnormal heart sound for diagnosing cardiac disorders." BioMed Research International 2022 (2022).
11. Levine, B.D. (2008). VO<sub>2</sub>max: what do we know, and what do we still need to know?. Journal of Physiology, 586(1), 25-34.
12. Dempsey, J.A., & Wagner, P.D. (1999). Exercise-induced arterial hypoxemia. Journal of Applied Physiology, 87(6), 1997-2006.
13. Bhambhani, Y. (2004). Physiology of exercise. Sports Medicine, 34(6), 385-395.
14. Bassett DR Jr, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Med Sci Sports Exerc. 2000 Jan;32(1):70-84
15. Wellman, Andrew, et al. "Respiratory system loop gain in normal men and women measured with proportional-assist ventilation." Journal of applied physiology 94.1 (2003): 205-212.
16. Mazzeo, Filomena, and Alessandro Liccardo. "Respiratory responses to exercise in sport." Sport Science 12.1 (2019): 49-52.
17. Durmic, Tijana, et al. "Sport-specific influences on respiratory patterns in elite athletes." Jornal brasileiro de pneumologia 41 (2015): 516-522.
18. Boutcher, Stephen H. "Aerobic fitness: Measurement and issues." Journal of Sport and Exercise Psychology 12.3 (1990): 235-247.
19. Johnson, B.D., & Weisman, I.M. (1995). Exercise-induced arterial hypoxemia?. Sports Medicine, 19(6), 369-377.
20. Hill, L., & Thigpen, J. (2019). Cardiopulmonary Exercise Testing. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
21. Pellegrino, R., & Rodarte, J.R. (1996). Effects of training on pulmonary function and exercise tolerance in children with congenital heart diseases. Chest, 110(5), 1239-1244.
22. Guenette, J.A., Witt, J.D., & McKenzie, D.C. (2007). Respiratory mechanics during exercise in endurance-trained men and women. Journal of Physiology, 581(3), 1309-1322.
23. Wasserman, K., Hansen, J.E., Sue, D.Y., Casaburi, R., & Whipp, B.J. (2011). Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications. Lippincott Williams & Wilkins.
24. Beaver, W.L., Wasserman, K., & Whipp, B.J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. Journal of Applied Physiology, 60(6), 2020-2027.

25. Poole, D.C., & Jones, A.M. (2012). Measurement of the maximum oxygen uptake VO<sub>2</sub>max: VO<sub>2</sub>peak is no longer acceptable. *Journal of Applied Physiology*, 112(3), 663-664.
26. Meyer, T., Gabriel, H.H., & Kindermann, W. (1999). Is determination of exercise intensities as percentages of VO<sub>2</sub>max or HRmax adequate?. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(9), 1342-1345.
27. Binder, R.K., Wonisch, M., Corra, U., Cohen-Solal, A., Vanhees, L., Saner, H., & Schmid, J.P. (2008). Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 15(6), 726-734.
28. Redfern JM, Hawkes S, Bryan A, Cullington D, Ashrafi R. The oxygen uptake efficiency slope in adults with CHD: group validity. *Cardiol Young*. 2024 Jan 15:1-10.
29. Jamnick NA, Pettitt RW, Granata C, Pyne DB, Bishop DJ. An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity. *Sports Med*. 2020 Oct;50(10):1729-1756.
30. Brooks GA. Cell-cell and intracellular lactate shuttles. *J Physiol*. 2009;587(Pt 23):5591-5600.
31. Jurasz M, Boraczyński M, Laskin JJ, Kamelska-Sadowska AM, Podstawski R, Jaszczur-Nowicki J, Nowakowski JJ, Groniek P. Acute Cardiorespiratory and Metabolic Responses to Incremental Cycling Exercise in Endurance- and Strength-Trained Athletes. *Biology (Basel)*. 2022 Apr 22;11(5):643.
32. Diebel SR, Newhouse I, Thompson DS, Johnson VBK. Changes in Running Economy, Respiratory Exchange Ratio and VO<sub>2</sub>max in Runners following a 10-day Altitude Training Camp. *Int J Exerc Sci*. 2017 Jul 1;10(4):629-639.
33. Blair, S. N., Kampert, J. B., Kohl III, H. W., Barlow, C. E., Macera, C. A., Paffenbarger Jr, R. S., ... & Gibbons, L. W. (1996). Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *Jama*, 276(3), 205-210.
34. Lee, D. C., Artero, E. G., Sui, X., & Blair, S. N. (2010). Mortality trends in the general population: the importance of cardiorespiratory fitness. *Journal of Psychopharmacology*, 24(4 suppl), 27-35.
35. Ross, R., Blair, S. N., Arena, R., Church, T. S., Després, J. P., Franklin, B. A., ... & Wisløff, U. (2016). Importance of assessing cardiorespiratory fitness in clinical practice: a case for fitness as a clinical vital sign: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 134(24), e653-e699.
36. Bassett Jr, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70-84.
37. Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35-44.
38. Astorino, T. A., Edmunds, R. M., Clark, A., King, L., & Gallant, R. A. (2017). Change in VO<sub>2</sub> max in response to training: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(12), 2331-2339.
39. Swain, D. P., & Franklin, B. A. (2002). VO<sub>2</sub> reserve and the minimal intensity for improving cardiorespiratory fitness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(1), 152-157.
40. McInnes, S. E., Carlson, J. S., Jones, C. J., & McKenna, M. J. (1995). The physiological load imposed on basketball players during competition. *Journal of Sports Sciences*, 13(5), 387-397.
41. Ostojic, Sergej M., Sanja Mazic, and Nenad Dikic. "Profiling in basketball: Physical and physiological characteristics of elite players." *The Journal of Strength & Conditioning Research* 20.4 (2006): 740-744.
42. Marinković, Dragan, and Slobodan Pavlović. "THE DIFFERENCES IN AEROBIC CAPACITY OF BASKETBALL PLAYERS IN DIFFERENT PLAYING POSITIONS." *Facta Universitatis: Series Physical Education & Sport* 11.1 (2013).
43. Stojmenović, Dragutin, Nenad Trunić, and Tamara Stojmenović. "A comparative study of aerobic capacity among elite basketball players according to five different positions in the team." *Journal of Physical Education and Sport* 22.10 (2022): 2522-2529.

44. Rebelo, A. N., Silva, J. R., Oliveira, J., Brito, J., Drust, B., & Mil-Homens, P. (2014). Are elite soccer players 'fitter' than non-elite? A categorical analysis. *Science and Medicine in Football*, 1(1), 64-68.
45. Abdelkrim, N. B., Castagna, C., Jabri, I., Battikh, T., & El Fazaa, S. (2010). Elastance behaviors and maximal oxygen uptake in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1253-1260.
46. Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222-227.
47. Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., & Lakomy, H. K. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of Applied Physiology*, 80(3), 876-884.
48. Ben Abdelkrim, N., Castagna, C., Jabri, I., Battikh, T., El Fazaa, S., & El Ati, J. (2010). Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players in relation to aerobic-anaerobic fitness. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(9), 2330-2342.
49. Scanlan, A. T., Dascombe, B. J., Reaburn, P., & Dalbo, V. J. (2011). The physiological and activity demands experienced by senior elite basketball players during competition. *Journal of science and medicine in sport*, 14(5), 422-427.
50. Scanlan, A. T., Wen, N., Pyne, D. B., Stojanović, E., Milanović, Z., & Conte, D. (2019). Power-Related Determinants of Modified 30-15 Intermittent Fitness Test Performance in Elite Youth Basketball Players. *International journal of sports physiology and performance*, 14(7), 906-913.
51. MacIntosh, B. R., Shahi, M. R., & Button, D. C. (2012). Tolerance of intense intermittent cycle exercise in man following one minute of induced muscle acidosis. *European journal of applied physiology*, 112(7), 2467-2476.
52. Nassis, G. P., & Goudas, K. (2018). Blood lactate concentration and performance in a football-specific field test. *International journal of sports physiology and performance*, 13(7), 931-937.
53. Heuberger JAAC, Gal P, Stuurman FE, de Muinck Keizer WAS, Mejia Miranda Y, Cohen AF. Repeatability and predictive value of lactate threshold concepts in endurance sports. *PLoS One*. 2018 Nov 14;13(11):e0206846.
54. Svedahl K, MacIntosh BR. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol*. 2003 Apr;28(2):299-323.
55. Hottenrott L, Möhle M, Feichtinger S, Ketelhut S, Stoll O, Hottenrott K. Performance and Recovery of Well-Trained Younger and Older Athletes during Different HIIT Protocols. *Sports (Basel)*. 2022 Jan 5;10(1):9.
56. World Health Organization. Available online: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> (accessed on 17 May 2020).
57. Mohamadian, M.; Chiti, H.; Shoghli, A.; Biglari, S.; Parsamanesh, N.; Esmaeilzadeh, A. COVID-19: Virology, biology and novel laboratory diagnosis. *J. Gene Med*. 2021, 23, e3303
58. Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., & Cheng, Z. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet*, 395(10223), 497-506.
59. Greenhalgh, T., Knight, M., A'Court, C., Buxton, M., & Husain, L. (2021). Management of post-acute covid-19 in primary care. *bmj*, 370.
60. Centers for Disease Control and Prevention. (2021). People with Certain Medical Conditions. Retrieved from <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/need-extra-precautions/people-with-medical-conditions.html>

61. Du M, Ma Y, Deng J, Liu M, Liu J. Comparison of Long COVID-19 Caused by Different SARS-CoV-2 Strains: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Nov 30;19(23):16010.
62. Saito S, Shahbaz S, Sligl W, Osman M, Tyrrell DL, Elahi S. Differential Impact of SARS-CoV-2 Isolates, Namely, the Wuhan Strain, Delta, and Omicron Variants on Erythropoiesis. *Microbiol Spectr*. 2022 Aug 31;10(4):e0173022.
63. Grix, J.; Brannagan, P.M.; Grimes, H.; Neville, R. Impact of COVID-19 on sport. *Int. J. Sport Policy* 2020, 13, 1–2.
64. Grazioli, R.; Loturco, I.; Baroni, B.M.; Oliveira, G.S.; Saciura, V.; Vanoni, E.; Dias, R.; Veeck, F.; Pinto, R.S.; Cadore, E.L. Coronavirus Disease-19 Quarantine Is More Detrimental Than Traditional Off-Season on Physical Conditioning of Professional Soccer Players. *J. Strength Cond. Res*. 2020, 34, 3316–3320.
65. Pelliccia, A.; Sharma, S.; Gati, S.; Bäck, M.; Börjesson, M.; Caselli, S.; Collet, J.P.; Corrado, D.; Drezner, J.A.; Halle, M.; et al. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur. Heart J*. 2021, 42, 17–96, Erratum in *Eur. Heart J*. 2021, 42, 548–549.
66. Wilson, M.G.; Hull, J.H.; Rogers, J.; Pollock, N.; Dodd, M.; Haines, J.; Harris, S.; Loosemore, M.; Malhotra, A.; Pieleas, G.; et al. Cardiorespiratory considerations for return-to-play in elite athletes after COVID-19 infection: A practical guide for sport and exercise medicine physicians. *Br. J. Sports Med*. 2020, 54, 1157–1161.
67. Yeo, T.J. Sport and exercise during and beyond the COVID-19 pandemic. *Eur. J. Prev. Cardiol*. 2020, 27, 1239–1241.
68. Nedeljkovic, I.P.; Giga, V.; Ostojic, M.; Djordjevic-Dikic, A.; Stojmenovic, T.; Nikolic, I.; Dikic, N.; Nedeljkovic-Arsenovic, O.; Maksimovic, R.; Dobric, M.; et al. Focal Myocarditis after Mild COVID-19 Infection in Athletes. *Diagnostics* 2021, 11, 1519.
69. Mitrani, R.D.; Alfadhli, J.; Lowery, M.H.; Best, T.M.; Hare, J.M.; Fishman, J.; Dong, C.; Siegel, Y.; Scavo, V.; Basham, G.J.; et al. Utility of exercise testing to assess athletes for post COVID-19 myocarditis. *Am. Heart J. Plus* 2022, 14, 100125.
70. Chevalier, L.; Cochet, H.; Mahida, S.; Blanchard, S.; Benard, A.; Cariou, T.; Sridi-Cheniti, S.; Benhenda, S.; Doutreleau, S.; Cade, S.; et al. Resuming Training in High-Level Athletes After Mild COVID-19 Infection: A Multicenter Prospective Study (ASCCOVID-19). *Sports Med. Open* 2022, 8, 83.
71. SARS-CoV-2 Viral Mutations: Impact on COVID-19 Tests Food and Drug Administration (.gov). Available online: <https://www.fda.gov/medical-devices/coronavirus-covid-19-and-medical-devices/sars-cov-2-viral-mutations-impact-covid-19-tests> (accessed on 16 March 2022).
72. Institute for Public Health of Serbia BATUT. Available online: <https://www.batut.org.rs/index.php?content=2523> (accessed on 11 October 2022).
73. Papanikolaou, V.; Chrysovergis, A.; Ragos, V.; Tsiambas, E.; Katsinis, S.; Manoli, A.; Papouliakos, S.; Roukas, D.; Mastronikolis, S.; Peschos, D.; et al. From delta to Omicron: S1-RBD/S2 mutation/deletion equilibrium in SARS-CoV-2 defined variants. *Gene* 2022, 814, 146134
74. Li, Q.; Wu, J.; Nie, J.; Zhang, L.; Hao, H.; Liu, S.; Zhao, C.; Zhang, Q.; Liu, H.; Nie, L.; et al. The Impact of Mutations in SARS-CoV-2 Spike on Viral Infectivity and Antigenicity. *Cell* 2020, 182, 1284–1294.e9.
75. El-Shabasy, R.M.; Nayel, M.A.; Taher, M.M.; Abdelmonem, R.; Shoueir, K.R.; Kenawy, E.R. Three waves changes, new variant strains, and vaccination effect against COVID-19 pandemic. *Int. J. Biol. Macromol*. 2022, 204, 161–168.
76. Sun, C.; Xie, C.; Bu, G.L.; Zhong, L.Y.; Zeng, M.S. Molecular characteristics, immune evasion, and impact of SARS-CoV-2 variants. *Signal Transduct. Target. Ther*. 2022, 7, 202. [Google Scholar] [PubMed]

77. Milovancev, A.; Avakumovic, J.; Lakicevic, N.; Stajer, V.; Korovljevic, D.; Todorovic, N.; Bianco, A.; Maksimovic, N.; Ostojic, S.; Drid, P. Cardiorespiratory Fitness in Volleyball Athletes Following a COVID-19 Infection: A Cross-Sectional Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 4059.
78. Babity, M.; Zamodics, M.; Konig, A.; Kiss, A.R.; Horvath, M.; Gregor, Z.; Rakoczi, R.; Kovacs, E.; Fabian, A.; Tokodi, M.; et al. Cardiopulmonary examinations of athletes returning to high-intensity sport activity following SARS-CoV-2 infection. *Sci. Rep.* 2022, 12, 21686.
79. Stavrou, T.V.; Kyriaki, A.; Vavougiou, D.G.; Fatouros, G.I.; Metsios, S.G.; Kalabakas, K.; Karagiannis, D.; Daniil, Z.; Gourgoulis, I.K.; Basdekis, G. Athletes with mild post-COVID-19 symptoms experience increased respiratory and metabolic demands: A cross-sectional study. *Sports Med. Health Sci.* 2022; 1–6, In press.
80. Martinez, M.W.; Tucker, A.M.; Bloom, O.J.; Green, G.; DiFiori, J.P.; Solomon, G.; Phelan, D.; Kim, J.H.; Meeuwisse, W.; Sills, A.K.; et al. Prevalence of Inflammatory Heart Disease Among Professional Athletes with Prior COVID-19 Infection Who Received Systematic Return-to-Play Cardiac Screening. *JAMA Cardiol.* 2021, 6, 745–752.
81. Komici, K.; Bianco, A.; Perrotta, F.; Iacono, A.D.; Bencivenga, L.; D’Agnano, V.; Rocca, A.; Bianco, A.; Rengo, G.; Guerra, G. Clinical Characteristics, Exercise Capacity and Pulmonary Function in Post-COVID-19 Competitive Athletes. *J. Clin. Med.* 2021, 10, 3053.
82. Parpa, K.; Michaelides, M. Aerobic capacity of professional soccer players before and after COVID-19 infection. *Sci. Rep.* 2022, 12, 11850.
83. Gadzic, A.; Zivkovic, A.; Stojmenovic, T. Influence of Covid 19 on morphological and cardiovascular status of professional handball players. *SportLogia* 2021, 17, 83–92.
84. Gärtner BC, Meyer T. Vaccination in elite athletes. *Sports Med.* 2014 Oct;44(10):1361-76.
85. Tafuri S, Sinesi D, Gallone MS. Vaccinations among athletes: evidence and recommendations. *Expert Rev Vaccines.* 2017 Sep;16(9):867-869. Epub 2017 Jul 25.
86. Patel R, Kaki M, Potluri VS, Kahar P, Khanna D. A comprehensive review of SARS-CoV-2 vaccines: Pfizer, Moderna & Johnson & Johnson. *Hum Vaccin Immunother.* 2022 Dec 31;18(1):2002083. Epub 2022 Feb 7.
87. Stenger T, Ledo A, Ziller C, et al. Timing of Vaccination after Training: Immune Response and Side Effects in Athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 2020 Jul;52(7):1603-1609.
88. Stojmenovic D, Stojmenovic T, Andjelkovic M, Trunic N, Dikic N, Kilibarda N, Nikolic I, Nedeljkovic I, Ostojic M, Purkovic M, Radovanovic J. The Influence of Different SARS-CoV-2 Strains on Changes in Maximal Oxygen Consumption, Ventilatory Efficiency and Oxygen Pulse of Elite Athletes. *Diagnostics (Basel).* 2023 Apr 27;13(9):1574.
89. NEDELJKOVIC, Ivana P., et al. Focal myocarditis after mild COVID-19 infection in athletes. *Diagnostics*, 2021, 11.8: 1519.
90. Vosko, Ivan, Andreas Zirlik, and Heiko Bugger. 2023. "Impact of COVID-19 on Cardiovascular Disease" *Viruses* 15, no. 2: 508.
91. Hull, James H et al. "COVID-19 vaccination in athletes: ready, set, go..." *The Lancet. Respiratory medicine* vol. 9,5 (2021): 455-456.
92. BATATINHA, Helena, et al. Recent COVID-19 vaccination has minimal effects on the physiological responses to graded exercise in physically active healthy people. *Journal of Applied Physiology*, 2022.
93. KRZYWAŃSKI, Jarosław, et al. Vaccine versus infection–COVID-19-related loss of training time in elite athletes. *Journal of science and medicine in sport*, 2022, 25.12: 950-959.
94. Institute for public health: Acquisition of immunity after vaccination against the disease COVID-19. <https://www.batut.org.rs/index.php?content=2198>

95. [Vakcinacija.gov.rs](https://vakcinacija.gov.rs): Vaccines against Covid-19 available in Serbia 2021. <https://vakcinacija.gov.rs/vaccine-protiv-covid-19-u-srbiji>
96. HULL, James H.; WOOTTEN, Moses; RANSON, Craig. Tolerability and impact of SARS-CoV-2 vaccination in elite athletes. *The Lancet Respiratory Medicine*, 2022, 10.1: e5-e6.
97. LEDO, Alexandra, et al. Elite athletes on regular training show more pronounced induction of vaccine-specific T-cells and antibodies after tetravalent influenza vaccination than controls. *Brain, Behavior, and Immunity*, 2020, 83: 135-145.
98. COLLIE, Shirley, et al. Association between regular physical activity and the protective effect of vaccination against SARS-CoV-2 in a South African case-control study. *British Journal of Sports Medicine*, 2023, 57.4: 205-211.
99. Bruyère O, Martens G, Demonceau C, Urhausen A, Seil R, Leclerc S, Le Garrec S, Le Van P, Edouard P, Tscholl PM, Delvaux F, Toussaint J-F, Kaux J-F Impact of COVID-19 Vaccination on Short-Term Perceived Change in Physical Performance among Elite Athletes: An International Survey. *Vaccines*. 2023; 11(4):796.
100. McKay AKA, Stellingwerff T, Smith ES, Martin DT, Mujika I, Goosey-Tolfrey VL, Sheppard J, Burke LM. Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. *Int J Sports Physiol Perform*. 2022 Feb 1;17(2):317-331. Epub 2022 Dec 29.
101. Carabelli AM, Peacock TP, Thome LG, Harvey WT, Hughes J; COVID-19 Genomics UK Consortium; Peacock SJ, Barclay WS, de Silva TI, Towers GJ, Robertson DL. SARS-CoV-2 variant biology: immune escape, transmission and fitness. *Nat Rev Microbiol*. 2023 Mar;21(3):162-177.
102. Nincevic J, Jurcev-Savicevic A, Versic S, Modric T, Turic A, Bandalovic A, Becir B, Mijakovic M, Bocina I, Sekulic D. How Different Predominant SARS-CoV-2 Variants of Concern Affected Clinical Patterns and Performances of Infected Professional Players during Two Soccer Seasons: An Observational Study from Split, Croatia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023; 20(3):1950.
103. Wrenn JO, Pakala SB, Vestal G, Shilts MH, Brown HM, Bowen SM, Strickland BA, Williams T, Mallal SA, Jones ID, Schmitz JE, Self WH, Das SR. COVID-19 severity from Omicron and Delta SARS-CoV-2 variants. *Influenza Other Respir Viruses*. 2022 Sep;16(5):832-836.
104. Gomes BBM, Ferreira NN, Garibaldi PMM, Dias CFSL, Silva LN, Almeida MAALDS, de Moraes GR, Covas DT, Kashima S, Calado RT, Fonseca BAL, Volpe GJ, Borges MC. Impact of SARS-CoV-2 variants on COVID-19 symptomatology and severity during five waves. *Heliyon*. 2024 Nov 9;10(22):e40113.
105. Chavda VP, Bezbaruah R, Deka K, Nongrang L, Kalita T. The Delta and Omicron Variants of SARS-CoV-2: What We Know So Far. *Vaccines (Basel)*. 2022 Nov 14;10(11):1926.
106. American College of Sports Medicine. *ACSM's metabolic calculations handbook*. Glass S, Dwyer GB, editors. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
107. Deng S, Yin M, Chen Z, Deng J, Wang Z, Li Y, Lyu M, Zhang B, Zhu S, Hu S, Nassis GP, Li Y. SARS-CoV-2 infection decreases cardiorespiratory fitness and time-trial performance even two months after returning to regular training - Insights from a longitudinal case series of well-trained kayak athletes. *J Exerc Sci Fit*. 2024 Oct;22(4):350-358.
108. MILJOEN, Hielko, et al. Effect of BNT162b2 mRNA booster vaccination on VO<sub>2</sub>max in recreational athletes: A prospective cohort study. *Health Science Reports*, 2022, 5.6: e929.
109. Samir A, Altarawy D, Sweed RA, Abdel-Kerim AA. "Sinopharm", "Oxford-AstraZeneca", and "Pfizer-BioNTech" COVID-19 vaccinations: testing efficacy using lung CT-volumetry with comparative analysis of variance (ANOVA). *Egypt J Radiol Nucl Med*. 2023;54(1):53. Epub 2023 Mar 6.

110. Halmans L, Venhorst A, Klemis V, Schmidt T, Greiß F, Sester U, Gärtner BC, Sester M, Meyer T. Immune Response to COVID-19 Vaccination in Elite Athletes. *Exerc Immunol Rev.* 2024;30:63-70.
111. Dhawan M, Sharma A, Priyanka, Thakur N, Rajkhowa TK, Choudhary OP. Delta variant (B.1.617.2) of SARS-CoV-2: Mutations, impact, challenges and possible solutions. *Hum Vaccin Immunother.* 2022 Nov 30;18(5):2068883.
112. Arunachalam PS, Scott MKD, Hagan T, Li C, Feng Y, Wimmers F, Grigoryan L, Trisal M, Edara VV, Lai L, Chang SE, Feng A, Dhingra S, Shah M, Lee AS, Chinthrajah S, Sindher SB, Mallajosyula V, Gao F, Sigal N, Kowli S, Gupta S, Pellegrini K, Tharp G, Maysel-Auslender S, Hamilton S, Aoued H, Hrusovsky K, Roskey M, Bosinger SE, Maecker HT, Boyd SD, Davis MM, Utz PJ, Suthar MS, Khatri P, Nadeau KC, Pulendran B. Systems vaccinology of the BNT162b2 mRNA vaccine in humans. *Nature.* 2021 Aug;596(7872):410-416.
113. Speiser DE, Bachmann MF. COVID-19: Mechanisms of Vaccination and Immunity. *Vaccines (Basel).* 2020 Jul 22;8(3):404.
114. Anastasio F, Barbuto S, Scarnecchia E, Cosma P, Fugagnoli A, Rossi G, Parravicini M, Parravicini P. Medium-term impact of COVID-19 on pulmonary function, functional capacity and quality of life. *Eur Respir J.* 2021 Sep 16;58(3):2004015.
115. Stojmenović T, Marković S. Impaired Cardiorespiratory Fitness of Elite Athletes after Asymptomatic or Mild SARS-CoV-2 Infection. *Medicina (Kaunas).* 2024 May 9;60(5):786.
116. Alfarouk K.O., Alhoufie S.T.S., Hifny A., Schwartz L., Alqahtani A.S., Ahmed S.B.M., Alqahtani A.M., Alqahtani S.S., Muddathir A.K., Ali H., et al. Of mitochondrion and COVID-19. *J. Enzym. Inhib. Med. Chem.* 2021;36:1258–1267.
117. Guarnieri J.W., Dybas J.M., Fazelinia H., Kim M.S., Frere J., Zhang Y., Albrecht Y.S., Murdock D.G., Angelin A., Singh L.N., et al. Targeted Down Regulation of Core Mitochondrial Genes During SARS-CoV-2 Infection. *bioRxiv.* 2022.
118. Galderisi M, Cardim N, D'Andrea A, Bruder O, Cosyns B, Davin L, Donal E, Edvardsen T, Freitas A, Habib G, Kitsiou A, Plein S, Petersen SE, Popescu BA, Schroeder S, Burgstahler C, Lancellotti P. The multi-modality cardiac imaging approach to the Athlete's heart: an expert consensus of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2015 Apr;16(4):353.
119. Cardoso FJ, Victor DR, Silva JRD, Guimarães AC, Leal CA, Taveira MR, Alves JG. Physical fitness level and the risk of severe COVID-19: A systematic review. *Sports Med Health Sci.* 2023 Jul 27;5(3):174-180.
120. Martinez MW, Tucker AM, Bloom OJ, Green G, DiFiori JP, Solomon G, Phelan D, Kim JH, Meeuwisse W, Sills AK, Rowe D, Bogoch II, Smith PT, Baggish AL, Putukian M, Engel DJ. Prevalence of Inflammatory Heart Disease Among Professional Athletes With Prior COVID-19 Infection Who Received Systematic Return-to-Play Cardiac Screening. *JAMA Cardiol.* 2021 Jul 1;6(7):745-752.

## Листа скраћеница

1.  $VO_2 \max$  – Maximal Oxygen Uptake – Максимална потрошња кисеоника
2.  $VE/VCO_2$  – Ventilatory Equivalent for Carbon Dioxide – Вентилаторни еквивалент за угљен-диоксид
3.  $VO_2/VAT$  – Oxygen Uptake at Ventilatory Anaerobic Threshold – Потрошња кисеоника на анејробном вентилаторном прагу
4.  $VAT1$  – First Ventilatory Anaerobic Threshold – Први вентилаторни анејробни праг
5. RCP – Respiratory Compensation Point – Тачка респираторне компензације
6. RER – Respiratory Exchange Ratio – Однос размене гасова
7.  $O_2/HR$  – Oxygen Pulse – Пулс кисеоника
8. Heart rate – Heart Rate – Срчана фреквенција
9. Maximal heart rate – Maximal Heart Rate – Максимална срчана фреквенција
10.  $VE/VO_2$  – Ventilatory Equivalent for Oxygen – Вентилаторни еквивалент за кисеоник
11. CPET – Cardiopulmonary Exercise Testing – Кардиопулмонално тестирање оптерећењем
12. SARS-CoV-2 – Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 – Вирус тешког акутног респираторног синдрома тип 2
13. CRP – C-Reactive Protein – Ц-реактивни протеин
14. ARDS – Acute Respiratory Distress Syndrome – Акутни респираторни дистрес синдром
15. D-dimer – D-dimer – Д-димер
16. NT-proBNP – N-terminal pro B-type Natriuretic Peptide – Н-терминални про-Б тип натриуретичког пептида
17. hs-cTn – High-sensitivity Cardiac Troponin – Високосензитивни кардијални тропонин
18. EF – Ejection Fraction – Ејекциона фракција
19. SBP (ммHg) – Systolic Blood Pressure – Систолни крвни притисак
20. DBP (ммHg) – Diastolic Blood Pressure – Дијастолни крвни притисак
21. RVd (мм) – Right Ventricular Diameter – Пречник десне коморе
22. IVSd (мм) – Interventricular Septal Diameter – Пречник интервентрикуларног септума
23. LVDd (мм) – Left Ventricular Diastolic Diameter – Дијастолни пречник леве коморе
24. LVPWd (мм) – Left Ventricular Posterior Wall Diameter – Пречник задњег зида леве коморе
25. LVSD (мм) – Left Ventricular Systolic Diameter – Систолни пречник леве коморе

## СПИСАК СЛИКА, ТАБЕЛА И ГРАФИКОНА

1. Слика 1 : Кардиоваскуларни систем код људи
2. Слика 2: Васерманове криве (енг.: Wasserman nine panel):  $VO_2$  = потрошња кисеоника (енг. oxygen consumption),  $VCO_2$  = производња угљен-диоксида (енг. Carbon dioxide output), HR (eng Heart rate )
3. Слика 3: Крива  $VCO_2$  наспрам  $VO_2$ : Повећање нагиба изнад угла од  $45^\circ$  (нагиб  $> 1$ ).  $VCO_2$  = производња угљен-диоксида (енг. Carbon dioxide output),  $VO_2$  = потрошња кисеоника:
4. Слика 4: Утицај повећања лактата на размену гасова током прогресивног повећања напора.
5. Слика 5: Одређивање респираторног анаеробног прага ( $VT1$ ) и тачке respiratorne kompenzације(RCP):
6. Слика 6: Побољшање физичке способности може значајно повећати стопу преживљавања за 10 година, посебно у средњим годинама.
7. Слика 7: Тест оптерећења на траци за процену Максималне потрошње кисеоника ( $V_{O2max}$ ):
8. Слика 8: Вредности максималне потрошње кисеоника по спортовима. Преузето са: [inscy.com](http://inscy.com)
9. Слика 9. Континуирано праћење ЕКГ-а са бежичним 12-одводним Стрес ЕКГ-ом током СРЕТ-а и триминутног опоравка.
10. Слика 10. Wasserman nine Panel plot . Панели дају преглед кардиоваскуларних, вентилационих и параметара размене гасова. Слика из лабораторије аутора.
11. Слика 11. Плато потрошње кисеоника у завршним фазама СРЕТ-а. Промене у потрошњи кисеоника су  $< 150$  мл  $O_2$ /мин упркос повећаном обиму рада/вежбња. Слика из лабораторије аутора
12. Слика 12. Панели од А – Д с лева на десно. Панел А - метода нагиба. Панел Б: вентилациони еквиваленти за кисеоник и угљен-диоксид. Панел Ц: откуцаји срца на  $VT1$  и RCP. Панел Д: Рет $CO_2$  крива (љубичаста боја) која се користи за одређивање RCP-а. Слика из лабораторије аутора
13. Табела 1. Просечне вредности срчане фреквенције, крвног притиска и ехокардиографских параметара у мировању, пре СРЕТ-а
14. Табела 2. Инфламаторни и срчани биомаркери након инфекције SARS CoV
15. Табела 3. Величина ефеката вакцинационог статуса и соја вируса на параметре функционалне способности спортиста
16. Табела 4. Дескриптивна статистика дистрибуције функционалних параметара спортиста инфицираних различитим сојевима вируса.
17. Табела 5. Дескриптивна статистика дистрибуције функционалних параметара ваксинисаних и невакцинисаних спортиста.
18. Табела 6. Дескриптивна статистика функционалних параметара ваксинисаних спортиста различитим врстама вакцинама.
19. Табела 7. Утицај ефекта вакцинације и врсте спорта на максималну потрошњу кисеоника ( $V_{O2max}$ )
20. Табела 8. Веза између максималних вредности RER и прагова вентилације
21. Табела 9. Величина ефеката вакцинационог статуса и соја вируса на вентилациону ефикасност  $VE/VCO_2$
22. Табела 10. Величина ефеката соја вируса и врсте вакцине на вентилациону ефикасност  $VE/VCO_2$

23. Табела 11. Дескриптивна статистика у варијабли  $VE/VC02$  и односа врсте вакцине и соја вируса у односу на групе
24. Табела 12. Дескриптивна статистика вакцинационог статуса и соја вируса у односу на групе у варијабли  $VE/VC02$
25. Табела 13. Дескриптивна статистика дистрибуције варијабли опоравка срчане фреквенције добијених извођењем СРЕТ-а код испитаника разврстаних по спортовима.
26. Графикон 1. Дистрибуција средњих вредности максималне потрошње кисеоника ( $VO2\ max$ ) унутар различитих сојева SARS- CoV-2 код вакцинисаних и не вакцинисаних спортиста.
27. Графикон 2. Дистрибуција вредности  $VO2\ max$  у односу на врсту спорта и статус вакцинације код врхунских спортиста међународног нивоа.
28. Графикон 3. Дистрибуција вредности  $VO2\ max$  у односу на врсту вакцине код врхунских спортиста међународног нивоа.
29. Графикон 4. Дистрибуција средњих вредности аеробне економичност код вакцинисаних и невакцинисаних врхунских спортиста у односу на сој SARS CoV-2 вируса.
30. Графикон 5. Дистрибуција средњих вредности аеробне економичност код вакцинисаних спортиста у односу на врсту вакцине.
31. Графикон 6. Дистрибуција средњих вредности коефицијента респираторне размене гасова (RER) у односу на сој вируса SARS CoV-2 и врсту спорта.
32. Графикон 7. Дистрибуција средњих вредности коефицијента респираторне размене гасова (RER) код вакцинисаних и невакцинисаних спортиста у односу на сој SARS CoV-2
33. Графикон 8. Дистрибуција средњих вредности коефицијента респираторне размене гасова (RER) код врхунских спортиста у односу на врсту вакцине
34. Графикон 9. Дистрибуција средње вредности  $VE/VC02$  у односу на врсту вакцине и сој SARS CoV-2 код врхунских спортиста
35. Графикон 10. Дистрибуција средње вредности  $VE/VC02$  у односу на вакцинисане и невакцинисане врхунске спортисте и различите врсте соја SARS CoV-2.
36. Графикон 11. Дистрибуција средње вредности кисеоничког пулса  $O2/HR$  у односу на инфекцију различитим сојевима SARS CoV-2. и између вакцинисаних и невакцинисаних спортиста.
37. Графикон 12. Дистрибуција средње вредности кисеоничког пулса  $O2/HR$  у односу на врсту вакцине код врхунских спортиста.
38. Графикон 13. Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце на првом вентилаторном прагу  $HR/VT1$  у односу инфекцију различитим сојевима SARS CoV 2 вируса и у односу на вакцинисане и невакцинисане спортисте.
39. Графикон 14. Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце на првом вентилаторном прагу  $HR/VT1$  у односу вакцинацију различитим вакцинама код врхунских спортиста.
40. Графикон 15. Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце на другом вентилаторном прагу  $HR/VT2$  у односу инфекцију различитим сојевима SARS CoV 2 вакцинисаних и невакцинисаних спортиста.
41. Графикон 16. Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце на другом вентилаторном прагу  $HR/VT2$  у односу вакцинацију различитим вакцинама код врхунских спортиста
42. Графикон 18. Дистрибуција средње вредности максималне срчане фреквенце ( $Hr\ max$ ) у односу спорт и статус вакцинације.
43. Графикон 19. Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце у првом минуту опоравка ( $HR1.\ min$ ) у односу на сој SARS Cov 2 и статус вакцинације код врхунских спортиста

44. Графикон 20. Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце у другом минуту опоравка (HR 2. min) у односу на сој SARS Cov 2 и статус вакцинације код врхунских спортиста.
45. Графикон 21. Дистрибуција средње вредности срчане фреквенце у трећем минуту опоравка (HR 3.min) у односу на сој SARS Cov 2 и статус вакцинације код врхунских спортиста.

**Биографија**

Драгутин Стојменовић, рођен у Београду 17.06 1973. године где је завршио основну и средњу школу. Активно је играо кошарку 15 година (Раднички Црвени Крст, Торлак, Умка), а након тога радио као тренер млађих категорија у кошарци 25 година (Умка, Јулино брдо, Спорт Еко, Флеш). Дипломирао је на Спортској академији на смеру кошарка и стекао највишу црвену лиценцу за рад од стране Кошаркашког савеза Србије.

Дипломирао је на Факултету спортских наука у Бањалуци и стекао диплому професора физичког васпитања, а затим и мастер студије на Универзитету Сингидунум са просеком 10. Мастер професор физичког васпитања и спорта.

После рада у кошарци, посветио се фитнесу и подизању свести о важности физичке активности. Од 2014. до 2021. године радио је у фитнес центру Ethnogym Бањица, као тренер групног НПТ тренинга који је сам креирао уз музику. Тренутно ради у Академији спорта Kid 3 на развоју младих спортиста.

Школске 2021/22 уписао Докторске академске студије на Факултету медицинских наука у Крагујевцу, изборно подручје Експериментална и примењена физиологија са спортском медицином. Усмени докторски испит положио је 13.10.2023.

Учествовање у пројектима:

Координатор за спорт и здравље удружења Активнија Србија 2015 – Планирање, координација и одржавање бесплатних јавних тренинга у градовима широм Србије, са идејом подизања свести грађана о значају физичке активности. Кроз 7 година пројекат је обишао више од 50 градова у Србији, а кроз рекреативни тренинг прошло је више од 10.000 грађана.

Драгутин Стојменовић је аутор више научних радова у међународним часописима са SCI листе из области физиологије напора и функционалне дијагностике.

**Библиографија**

1. Stojmenovic D, Stojmenovic T, Andjelkovic M, Trunic N, Dikic N, Kilibarda N, Nikolic I, Nedeljkovic I, Ostojic M, Purkovic M, Radovanovic J. The Influence of Different SARS-CoV-2 Strains on Changes in Maximal Oxygen Consumption, Ventilatory Efficiency and Oxygen Pulse of Elite Athletes. *Diagnostics*. 2023; 13(9):1574. (M21) (IF 3,992)
2. Ostojic M, Ostojic M, Petrovic O, Nedeljkovic-Arsenovic O, Perone F, Banovic M, Stojmenovic T, Stojmenovic D, Giga V, Beleslin B, et al. Endurance Sports and Atrial Fibrillation: A Puzzling Conundrum. *Journal of Clinical Medicine*. 2024; 13(24):7691. <https://doi.org/10.3390/jcm13247691> (M21, IF 3.0)
3. Stojmenović, T., Stojmenović, D., Prodanović, T., Prodanović, N., Kostić, A., Djordjevic, J. C., & Živojinović, S. (2024). Assessment of cardiorespiratory function in adolescent athletes affected by COVID-19: a comparative analysis. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, 28(3), 222-230. (M23, IF 0,7)
- 5 Stojmenović, D., & Stojmenović, T. (2023). Physiological parameters of professional football players in teams of various levels. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, 27(5), 361-367.
- 6 Stojmenović, D., Trunić, N., & Stojmenović, T. (2023). Differences in Aerobic and Anaerobic Capacity between Special Police Force Members and Elite Basketball Players." *Sport Mont*, vol. 21, no. 2, 2023, pp. 17-23. doi: 10.26773/smj.230703 \*(M24) (Q 3 Scopus)

- 7 Stojmenović, T., Stojmenović, D., & Purković, M. (2023). Dosage of Physical Activity Using Determination of Ventilatory Anaerobic Threshold by Cardiopulmonary Exercise Test. *SPORT, MEDIA AND BUSINESS*, 9(1), 41-57.
- 8 Stojmenović, D, Trunić, N Purković, M, Stojmenović T. "Anaerobic ability and explosive leg strength of youth female basketball players according to different position in the team." *Journal of Physical Education and Sport* 23, no. 1 (2023): 194-199. \*(M24) (Q3 Scopus)
- 9 Stojmenović, D, Trunić, N, and Stojmenović, T. "A comparative study of aerobic capacity among elite basketball players according to five different positions in the team." *Journal of Physical Education and Sport* 22, no. 10 (2022): 2522-2529. \*(M24) (Q3 Scopus)

## Радови на конференцијама

1. Stojmenović, D, Nikolić I, Stojmenović T, (2021.) THERAPEUTIC USE EXEMPTION IN SPORT AND ABUSE OF MEDICINE IN ORDER TO IMPROVE SPORTS PERFORMANCES – Sport nauka praksa. Vol 12 2021. Visoka sportska i zdravstvena škola (M53)
2. Stojmenović, D. Stojmenović T, Nikolić I, (2021) Comparative analysis of anaerobic ability and explosive strength of the legs in female basketball players age 14 – 16 in different players positions - XX Internacional scientific conference - Contemporary challenges in sport, physical exercising and active lifestyle (M34)
3. Stojmenović, D, Nikolić I, Stojmenović T, (2021)T, THERAPEUTIC USE EXEMPTION IN SPORT AND ABUSE OF MEDICINE IN ORDER TO IMPROVE SPORTS PERFORMANCES - 4th International Scientific Conference “Health, Sport, Recreation”, (M34)
4. Stojmenović, D (2021) The connection between the specific nutrition of athletes before competition and importance for energy, motivation, and attention, XXIII International scientific conference FIS communication Niš (M34)

Образац 1

**ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

**УТИЦАЈ ИНФЕКЦИЈЕ РАЗЛИЧИТИХ СОЈЕВА SARS CoV 2 ВИРУСА НА  
ФУНКЦИОНАЛНЕ СПОСОБНОСТИ ВАКЦИНИСАНИХ И  
НЕВАКЦИНИСАНИХ ПРОФЕСИОНАЛНИХ СПОРТИСТА**

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође *потврђујем*:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу, 2025. године,

  
потпис аутора

*Образац 2*

**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ  
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:

**УТИЦАЈ ИНФЕКЦИЈЕ РАЗЛИЧИТИХ СОЈЕВА SARS CoV 2 ВИРУСА НА  
ФУНКЦИОНАЛНЕ СПОСОБНОСТИ ВАКЦИНИСАНИХ И  
НЕВАКЦИНИСАНИХ ПРОФЕСИОНАЛНИХ СПОРТИСТА** истоветне.

У Крагујевцу, 2025. године,



потпис аутора

## ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Драгутин Стојменовић

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

**УТИЦАЈ ИНФЕКЦИЈЕ РАЗЛИЧИТИХ СОЈЕВА SARS CoV 2 ВИРУСА НА ФУНКЦИОНАЛНЕ СПОСОБНОСТИ ВАКЦИНИСАНИХ И НЕВАКЦИНИСАНИХ ПРОФЕСИОНАЛНИХ СПОРТИСТА**

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

не дозвољавам<sup>1</sup>

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

---

<sup>1</sup> Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада<sup>2</sup>

У Крагујевцу, 2025 године,

  
потпис аутора

---

<sup>2</sup> Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>