



Sveučilište u Zagrebu

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Marko Možek

**PROMJENE I POVEZANOST
VENTILACIJSKIH I METABOLIČKIH
POKAZATELJA U ZONI OPTEREĆENJA
ISPOD I IZNAD ANAEROBNOG PRAGA U
ATLETIČARA TRKAČA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2022.



University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Marko Možek

**CHANGES AND RELATIONSHIP
BETWEEN VENTILATION AND
METABOLIC PARAMETERS IN THE
INTENSITY ZONE BELOW AND ABOVE
THE ANAEROBIC THRESHOLD IN
RUNNING ATHLETES**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2022.



Sveučilište u Zagrebu
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Marko Možek

**PROMJENE I POVEZANOST
VENTILACIJSKIH I METABOLIČKIH
POKAZATELJA U ZONI OPTEREĆENJA
ISPOD I IZNAD ANAEROBNOG PRAGA
U ATLETIČARA TRKAČA**

DOKTORSKI RAD

Mentor :
Doc.dr.sc. Vlatko Vučetić

Zagreb, 2022.



University of Zagreb
FACULTY OF KINESIOLOGY

Marko Možek

**CHANGES AND RELATIONSHIP
BETWEEN VENTILATION AND
METABOLIC PARAMETERS IN THE
INTENSITY ZONE BELOW AND ABOVE
THE ANAEROBIC THRESHOLD IN
RUNNING ATHLETES**

DOCTORAL THESIS

Supervisor(s):

Assistant professor Vlatko Vučetić, PhD

Zagreb, 2022.

INFORMACIJE O MENTORU

Doc. dr. sc. Vlatko Vučetić rođen je 16. Veljače 1974. u Zagrebu. Od 1980. do 1988. pohađao je osnovnu školu, a od 1988. do 1992. srednju elektrotehničku školu u Zagrebu.

Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisuje 1996. godine, a 2007. je obranio doktorsku disertaciju sa temom "Razlike u pokazateljima energetske kapaciteta trkača dobivenih različitim protokolima opterećenja".

Svoj profesionalni razvoj prvo započinje kao znanstveni novak 2002. godine, nakon toga postaje mlađi asistent na kolegijima Metodika I i II, te Atletika I, 2009. godine biva izabran u nastavno zvanje višeg predavača na Kineziološkom fakultetu, da bi 2016. godine bio izabran nastavno zvanje docenta na predmetu Praćenje i vrednovanje rada u kineziološkoj edukaciji na Učiteljskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Istovremeno radi kao predavač i nositelj kolegija na više od desetak kolegija na preddiplomskom i diplomskom sveučilišnom studiju, stručnom studiju za izobrazbu trenera i doktorskom studiju. Ujedno je i voditelj Sportsko dijagnostičkog centra Kineziološkog fakulteta.

Autor je ukupno 165 što znanstvenih što stručnih radova, koje je objavio u suautorstvu ili samostalno. Radovi su objavljeni u svih relevantnim svjetskim bazama podataka. Aktivno je sudjelovao na više od tridesetak domaćih i međunarodnih znanstvenih i stručnih konferencija. Također, recenzent je u tri znanstvena časopisa. Trenutno obnaša dužnost Predstojnika Studijskog centra za izobrazbu trenera. Sudjeluje u realizaciji nastave na engleskom jeziku za strane studente po ERASMUS programu.

SAŽETAK

Disanje predstavlja kompleksan sklop međusobno povezanih mehanizama, temeljenih na vrlo kompleksnom sustavu povratnih veza od kojih svaki mora optimalno funkcionirati kako bi sam dišni sustav djelovao sinkrono temeljem egzogenih i endogenih zahtjeva koji se postavljaju pred njega. Sa optimalnom izvedbom istog dolazi do zadovoljenja svih fizioloških zahtjeva koji se pred jedan takav sustav postavljaju s obzirom na energetske potrebe organizma. Osnovni ciljevi ove doktorske disertacije bili su višestruki. Prva dva cilja su usmjerena na analizu razlika trenda ventilacijskih (dišni volumen (DV), frekvencija disanja (FD), dišna ventilacija (VE)) i metaboličkih (izdahnuti ugljični dioksid (VCO_2), koncentracija kisika u izdahnutom zraku (FeO_2) i koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku ($FeCO_2$)) parametara u zoni intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga, te na analizu razlika trenda subjektivne percepcije opterećenja (SPO) u istim zonama intenziteta. Treći i četvrti cilj usmjereni su na povezanost ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja u zonama intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga. Postavljen je još jedan dodatan, eksplorativan cilj kojim se nastojalo analizirati razlike u ventilacijskim i metaboličkim parametrima te subjektivnoj percepciji opterećenja kod atletičara trkača koji se bave atletskim trkačkim disciplinama s dominantnim udjelom aerobnog odnosno anaerobnog energetskog metabolizma.

U istraživanju je sudjelovalo 46 ispitanika, atletičara trkačkih disciplina, nacionalnog ranga. Uzimajući u obzir eksplorativni cilj, 25 ispitanika je bilo svrstano u „aerobnu“ skupinu dok je 21 ispitanik bio razmješten u „anaerobnu“ skupinu. Svi ispitanici realizirali su progresivni test do iscrpljenja sa porastom brzine pokretnog saga od 1 km/h svake minute (KF1). Spirometrijski podaci dobiveni *Breath by breath* metodom usrednjeni su na 30 sekundi. Analizirani su primjenom Pearsonovog koeficijenta korelacije (r) za utvrđivanje povezanosti između varijabli, za utvrđivanje razlika primijenjen je T-test za zavisne uzorke, dok je za određivanje b1 regresijskih koeficijenata korištena jednostavna regresijska analiza. Rezultati istraživanja potkrepljuju pretpostavku o postojanju različitih trendova kretanja krivulja ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja u zoni intenziteta ispod u odnosu na zonu intenziteta iznad anaerobnog praga. Samim time uočen je značajno različit nagib krivulja ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja ovisno o zonama intenziteta. No, potrebno je naglasiti da takav trend statističke značajnosti nije uočen kada je riječ o dišnom volumenu. Povezanost ventilacijskih i

metaboličkih parametara iznimno je visoka, nevezano radi li se o zoni intenziteta ispod ANP-a ili iznad ANP-a. Ono što je moguće uočiti je povezanost metaboličkih i ventilacijskih parametara odnosno slijed nagiba krivulja VCO_2 i VE, posebice FD, dok nije uočljiv takav slijed kada je riječ o DV, što može ukazivati da organizam za uklanjanje nagomilanog ugljičnog dioksida nakon ANP-a dominantno koristi frekvenciju disanja za povećanje dišne ventilacije čije povećanje za svrhu ima uklanjanje viška stvorenog ugljičnog dioksida.

Subjektivna percepcija opterećenja ukazuje na izrazito visoku povezanost sa ventilacijskim parametrima ($r=0.98$ sa FD i DV) u zoni opterećenja ispod anaerobnog praga. U zoni iznad anaerobnog praga vidljiv je suprotan trend kretanja koeficijenata korelacije ventilacijskih parametara i SPO. Koeficijent korelacije SPO i DV pada sa $r=0.98$ na $r=0.91$, dok koeficijent korelacije sa FD raste sa $r=0.98$ na maksimalnu povezanost i iznosi $r=1.00$. Povezanost sa metaboličkim parametrima je gotovo pa nepromijenjena s obzirom na zonu intenziteta. Dobivene vrijednosti povezanosti ventilacijskih i metaboličkih parametara su više u odnosu na one koje su referencirane u određenoj literaturi, a isto vrijedi i za povezanost sa subjektivnom percepcijom opterećenja.

Eksplorativnim ciljem analizirane su relacije i kretanja ventilacijskih, metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja kada su ispitanici podijeljeni u dvije podgrupe („aerobnu“ i „anaerobnu“) ovisno o dominantnosti energetske procesa zastupljenih u njihovoj atleskoj specijaliziranosti. Rezultati ukazuju da u metaboličkim parametrima u tako definiranim skupinama ispitanika nema razlike, osim kada je riječ o primitku kisika. Nadalje, vidljivo je da ventilacijski odgovor organizma nije tako uniforman kao kod metaboličkih parametara. Naime, i dišna ventilacija i frekvencija disanja razlikuju se kod „aerobne“ skupine ispitanika u odnosu na „anaerobnu“, pri čemu su vidljive više vrijednosti dišne ventilacije i frekvencije disanja u sportaša aerobne skupine, dok kod dišnog volumena nema razlike. Subjektivna percepcija opterećenja pokazuje više vrijednosti na Borgovoj skali kod sportaša aerobne skupine u odnosu na anaerobnu skupinu, pri čemu ta razlika predstavlja statistički značajnu razliku između ovako definiranih skupina sportaša u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga. Ovakva razlika parametara konativnog karaktera u skladu je s poznatim tehnologijama treninga kojima određene skupine sportaša kreiraju vlastite trenažne modalitete.

Ključni pojmovi: dišna ventilacija, frekvencija disanja, dišni volumen, izdahnuti ugljični dioksid, subjektivna percepcija opterećenja, zone opterećenja

ABSTRACT

Breathing is a complex system of interdependent mechanisms, based on a very complex system of feedback, each of which must function optimally for the respiratory system to function synchronously based on exogenous and endogenous demands placed on it. With the optimal performance of the same, all physiological requirements that are placed in front of such a system regarding the energy needs of the organism are met. The main goals of this doctoral dissertation were multiple. The first two objectives are aimed at analyzing the trend differences of ventilation (tidal volume (TV), respiratory frequency (RF), respiratory ventilation (VE)) and metabolic (carbon dioxide output (VCO_2), fractional content of expired oxygen (FeO_2) and fractional content of expired carbon dioxide (FeCO_2)) parameters in the intensity zone below and above the anaerobic threshold, and at analyzing the differences in ratings of perceived exertion (RPE) trends in the same intensity zones. The third and fourth goals are focused on the coherence between ventilation and metabolic parameters and ratings of perceived exertion in intensity zones below and above the anaerobic threshold. Another addition was set, an exploratory goal to analyze the differences in ventilation and metabolic parameters and ratings of perceived exertion in running athletes engaged in athletic racing disciplines with a dominant share of aerobic and anaerobic energy metabolism.

The study involved 46 respondents, athletes of racing disciplines, national rank. Considering the exploratory goal, 25 respondents were classified in the "aerobic" group while 21 respondents were placed in the "anaerobic" group. All subjects performed a progressive incremental test to exhaustion with an increase in treadmill speed of 1 km/h every minute (KF1). Ventilatory and metabolic data obtained by the *Breath-by-breath* method were averaged over 30 seconds. They were analyzed using Pearson's correlation coefficient (R) for defining coherence between variables, for defining differences it was used T-test for dependent samples, and for defining slope coefficient regression analysis was applied. The results of the research support the assumption of the existence of different trends in the curves of ventilation and metabolic parameters and ratings of perceived exertion in the intensity zone below in relation to the intensity zone above the anaerobic threshold. Thus, a significantly different slope of the curves of ventilation and metabolic parameters and ratings of perceived exertion depending on the intensity zones was observed. However, it should be emphasized that such a trend of statistical significance was not observed when it comes to tidal volume. The correlation between ventilation and metabolic parameters is extremely high, regardless of intensity zones. What can

be noticed is the connection between metabolic and ventilation parameters, i.e., the sequence of VCO_2 and VE curves, especially RF, while such a sequence is not noticeable when it comes to TV, which may indicate that the body predominantly uses respiration frequency to remove accumulated carbon dioxide after ANT, which purpose is to remove excess carbon dioxide.

Rating of perceived exertion indicates an extremely high correlation with ventilation parameters ($r = 0.98$ with RF and TV) in the load zone below the anaerobic threshold. In the zone above the anaerobic threshold, the opposite trend of the correlation coefficients of ventilation parameters and RPE is visible. The correlation coefficient of RPE and TV decreases from $r = 0.98$ to $r = 0.91$, while the correlation coefficient with RF increases from $r = 0.98$ to the maximum correlation and amounts to $r = 1.00$. The association with metabolic parameters is almost unchanged with respect to the intensity zone. The obtained values of the correlation between ventilation and metabolic parameters are higher than those referenced in a certain literature, and the same is true for the correlation with the rating of perceived exertion.

The exploratory goal of the dissertation was to analyze the relations and movements of ventilation and metabolic parameters and rating of perceived exertion when the subjects were divided into two subgroups ("aerobic" and "anaerobic") depending on the dominance of energy processes represented in their athletic specialization. The results indicate that there is no difference in metabolic parameters in such groups, except when it comes to oxygen uptake. Furthermore, it is evident that the ventilation response of the organism is not as uniform as with metabolic parameters. Namely, both respiratory ventilation and respiratory rate differ in the "aerobic" group compared to the "anaerobic", with higher values of respiratory ventilation and respiratory rate in athletes of the aerobic group, while there is no difference in tidal volume. Rating of perceived exertion shows higher values on the Borg scale in athletes of the aerobic group compared to the anaerobic group, and this difference represents a statistically significant difference between such defined groups of athletes in the intensity zone above the anaerobic threshold. This difference in the parameters of conative character is in line with the known training technologies by which certain groups of athletes create their own training modalities.

Keywords: ventilation, tidal volume, respiration frequency, carbon dioxide production, rating of perceived exertion, intensity zones

Sadržaj

1. UVOD U PROBLEM.....	1
1.1. Mehanizmi regulacije disanja.....	2
1.1.1. Neurogeni i humoralni činioci regulacije plućne ventilacije, dišnog volumena i frekvencije disanja	2
1.1.2. Utjecaj ugljičnog dioksida (CO ₂) na regulaciju disanja	9
1.2. Subjektivna percepcija opterećenja u funkciji regulacije disanja.....	13
1.3. Trenažni status i tehnika disanja	18
2. CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	21
3. METODE ISTRAŽIVANJA.....	23
3.1. Ispitanici	23
3.2. Varijable	23
3.3. Opis postupka mjerenja	26
3.4. Metode prikupljanja i obrade podataka	29
4. REZULTATI.....	31
4.1. Deskriptivna analiza	31
4.2. Tablični i grafički prikazi ventilacijskih i metaboličkih parametara te SPO	33
5. RASPRAVA.....	67
5.1. Analiza i relacije ventilacijskih i metaboličkih parametara	69
5.2. Analiza i relacije subjektivne percepcije opterećenja	85
5.2. Utjecaj sportske specijaliziranosti na ventilacijski i metabolički odgovor organizma	88
6. ZAKLJUČAK	91
7. LITERATURA.....	93
8. ŽIVOTOPIS AUTORA S POPISOM OBJAVLJENIH DJELA.....	113

1. UVOD U PROBLEM

Nakon što se dijete rodi, svoj život van majčine utrobe započinje udahom. Čovjek svoj život završava izdahom. Na taj način dolazi do uravnoteženosti broj udaha i izdaha koje svaka osoba napravi tijekom života. S obzirom da čovjek započinje i završava život ciklusom disanja, nepobitno je da je disanje najvjerojatnije i najvažnija fiziološka osobina koju čovjek posjeduje. Disanje je u svojoj suštini vrlo jednostavna aktivnost. Temeljne su funkcije disanja izmjena dva plina, koja se temelji na unosu kisika (O_2) i uklanjanju ugljičnog dioksida (CO_2) iz organizma, te održavanje acidobazne ravnoteže. Prema Guytonu (2002) disanje možemo podijeliti na četiri funkcionalne cjeline: plućnu ventilaciju, difuziju O_2 i CO_2 između alveola i krvi, prijenos O_2 i CO_2 krvlju i tjelesnim tekućinama do stanica i od njih te kontrola ventilacije i ostali aspekti disanja.

Disanje predstavlja jednu od rijetkih tjelesnih funkcija za koju je nužna regulacija iz trenutka u trenutak. U normalnim uvjetima, disanje zahtjeva brzu reakciju na promjene metabolizma s ciljem regulacije arterijskih plinova, ali također disanje je pod utjecajem ponašanja (govor, postura, spavanje), okoline (temperatura, svjetlost) ali i svjesne kontrole disanja, čijom primjenom se može doći do analize i identificiranja potencijalnih neuralnih mehanizama uključenih u terapijsko disanje (Farb i sur. 2013; Kemmer i sur. 2015; Levinson i sur. 2014)). Analizom mogućnosti kontroliranog disanja (voljnog i usmjerenog) istraživanjem Herrera i sur. (2018) su identificirali mrežu područja mozga uključenih u voljno i usmjereni disanje te su ustvrdili kako kontrolirano disanje doprinosi pristupu u određene regije mozga ali i njihovoj sinkronizaciji. Neuralni kontrolni sustav u moždanom deblu i prednjem mozgu omogućuje zadovoljenje i metaboličkih i bihevioralnih zahtjeva putem integracije aferentnih signala iz kemoreceptora i mehanoreceptora, te utječući na eferentnu kontrolu respiratorne muskulature. Kao primjer takve regulacije moguće je navesti da tijekom aktivnosti visokog intenziteta, dolazi do povećanja aktivnosti mehanoreceptora mišića i zglobova, kemoreceptori osjećaju snižavanje pH vrijednosti uslijed proizvodnje i akumulacije laktatne kiseline u krvi (uslijed anaerobne glikolize), povišena tjelesna temperatura aktivira centralne kemoreceptore, i sl. Sve te promjene u interakciji navedenih čimbenika mogu u različitom opsegu doprinijeti povećanju ventilacije tijekom aktivnosti (Spengler, 2002). Tjelesna aktivnost izaziva brojne adaptacijske promjene, a jedna od takvih promjena je i ranije spomenuti porast dišne ventilacije, kao odgovor organizma na različite vanjske i unutarnje stresore (Tipton i sur., 2017), a čija je

osnovna funkcija održavanje parcijalnih tlakova O_2 i CO_2 u krvi (Dejours, 1964). Porast ventilacije nastaje kao posljedica porasta dviju komponenti kojima je definirana plućna ventilacije: dišnog volumena (DV) i frekvencije disanja (FD).

1.1. Mehanizmi regulacije disanja

Razumijevanje regulacije disanja jedan je od temeljnih izazova u proučavanju fiziologije dišnog sustava i energetske kapaciteta čovjeka. Prema tome, disanje je tijekom aktivnosti regulirano brojnim interakcijama različitih čimbenika (kemijskih, neurogenih, humoralnih, centralnih, perifernih). Zadaća interakcije različitih mehanizama je osigurati protok dovoljne količine kisika do alveola u plućima te za daljnji transport do aktivnog mišićja, uz povećanje minutnog volumena srca, te uklanjanje ugljičnog dioksida. Važnost ovakvog adaptacijskog odgovora najvjerojatnije je povezana sa „fight or flight“ reakcijom, te diktira prednost multisistemskog kontrolnog mehanizma kako bi se očuvala ovako važna funkcija (Flenley i Warren, 1983).

Tipton i sur. (2017) u preglednom radu definiraju plućnu ventilaciju (VE) kao kombinaciju neuralnih odlaznih impulsa i mehaničkog odgovora, pri čemu kažu da sam profil neuralnog odlaznog impulsa na početku neuralnog inspirija ima važnu funkciju u određivanju dišnog volumena. Vrlo je važno definirati način kako dolazi do porasta ventilacije i kakav je odnos dišnog volumena i frekvencije disanja tijekom tog povećanja, odnosno da li postoje isti ili različiti mehanizmi utjecaja na ove dvije komponente. U skladu s time, brojni autori analiziraju utjecaj različitih, ranije spomenutih čimbenika na ventilaciju.

1.1.1. Neurogeni i humoralni činioci regulacije plućne ventilacije, dišnog volumena i frekvencije disanja

Najviše analizirani utjecaj na disanje, a samim time i na varijabilitet plućne ventilacije usmjeren je na istraživanja utjecaja neurogenih mehanizama. Što i nije nezamislivo s obzirom da takvi neurogeni faktori (centralni i periferni) stoje u pozadini svih reakcija organizma na endogene i egzogene uvjete. Kompleksnost koja se nalazi u pozadini neurološke regulacije disanja iznimna je, izuzetno je velik broj istraživanja koja su provedena na tom području ne bi li se došlo do univerzalnog odgovora o mehanizmima odgovornim za regulaciju disanja. No, kompleksnost živčanog sustava podrazumijeva i različite pristupe, metodologije, interpretacije

rezultata, a nerijetko i različite subjekte koji su predmet istraživanja. S obzirom na kompleksnost i isprepletenost takvog sustava s regulacijom drugih sustava izrazito je zahtjevno dobiti jednoznačan mehanizam ili jednoznačan rezultat koji će nam ukazati da točno određen mehanizam i u točno određenim uvjetima utječe na disanje na točno određen način.

Ventilacijski odgovor na kontinuirano opterećenje kod aktivnosti niskog do umjerenog intenziteta karakteriziraju tri faze (Ward, 2000). Prvu, inicijalnu fazu, koja započinje prelazom iz mirovanja u početak vježbanja definira gotovo pa trenutno povećanje plućne ventilacije, koje se pripisuje neuralnom podražaju s obzirom da nastupa prebrzo da bi se moglo pripisati humoralnim faktorima (Matell, 1963). Drugu fazu karakterizira rad mehanizama plućne izmjene plinova pred koje se javlja izazov proizašao iz vježbom induciranih promjena u sastavu mješovite venske krvi što nastaje kao rezultat doprinosa aktivnog mišićja. Upravo to inicira naknadni eksponencijalni rast $\dot{V}O_2$ i $\dot{V}CO_2$ sa približno eksponencijalnim rastom VE. Tijekom steady-state stanja, linearna proporcionalnost između dišne ventilacije i $\dot{V}CO_2$ osigurava stabilnost $PaCO_2$ i pH_a blizu vrijednostima u mirovanju (Ward, 2014). Isti autor (Ward, 2014) navodi da kod visoko intenzivne aktivnosti, iznad anaerobnog praga, kinetika reakcije dišne ventilacije postaje sve kompleksnija te uravnoteženo stanje nije više moguće održavati. To nastaje kao posljedica, primjerice, dodatnih zahtjeva na ventilacijsko uklanjanje CO_2 , što za posljedicu ima puferiranje metabolički proizvedenih vodikovih iona putem bikarbonatnih iona (HCO_3^-) posredstvom plućne ventilacije.

Postoje tri moguće hipoteze o ovom inicijalnom porastu ventilacije na početku aktivnosti. Jedna govori o utjecaju centralne motoričke zapovijedi (Eldridge, 1994), druga o aferentnoj povratnoj vezi (Kaufman i Forster, 1996), a treća o centralnom neuralnom nagonu za disanje koji uključuje mehanizam uzbuđenja ili promjene stanja ponašanja (Shea, 1996). Sličnu teoriju ranije spomenutima, dali su Sheel i Romer (2012) koji kažu da postoje tri bitna faktora ventilacijskog odgovora na tjelesnu aktivnost: a) centralni moždani generator/integrator ritma; b) neuronski ulazni podražaji u taj generator/integrator koji dolaze iz viših lokomotornih područja centralnog živčanog sustava (centralna zapovijed, centralni kemoreceptori, izravni utjecaj temperature) te sa perifernih područja (kemoreceptori i mehanoreceptori); c) regulacija distribucije eferentnih motoričkih odlaznih signala prema respiratornoj muskulaturi.

Iako je nepobitno da su ovi mehanizmi esencijalni za regulaciju disanja, još uvijek je nepoznato kakva je njihova međusobna interakcija. Osim ranije navedena tri esencijalna mehanizma ventilacijskog odgovora, samu kompleksnost neurološke pozadine disanja moguće je vidjeti u istraživanju Herrere i sur. (2018) koji su analizirali aktivaciju različitih neurogenih

područja u mozgu tijekom primjene različitih načina disanja. Rezultati ukazuju na postojanje veze između disanja i moždane aktivnosti, predstavljajući ritam disanja kao organizirano načelo kortikalnih oscilacija ljudskog mozga. Ono što ukazuje na svu kompleksnost ovog sustava vidljivo je kada su autori, uz istodobno nadziranje disanja i izvođenje intrakranijalnog EEG-a, demonstrirali mrežu područja uključenih u voljno i fokusirano disanje, dajući uvid u potencijalne moždane mehanizme uključene tijekom primjene terapijskih vježbi disanja. Tako je vidljivo da su različita područja mozga pobuđena kao reakcija respiratornog sustava na različito disanje. Primjerice, kada je naglasak na voljnom disanju autori su izdvojili aktivnost kaudalno-medijalno frontalnog korteksa, predmotoričkog korteksa, orbito-frontalnog i motoričkog korteksa, otočnog korteksa ili insule, gornjeg temporalnog girusa i amigdale. Prilikom analize fokusiranog disanja, aktivnost je bila naglašena u prednjem cingularnom korteksu, predmotoričkom korteksu, otočnom korteksu i hipokampusu. Temeljem aktivacije velikog broja takvih područja moguće je zaključiti da su respiracijske reakcije na trenažnu aktivnost putem različitih mehanizama izrazito kompleksne i nikako nisu pod utjecajem samo jednog dijela mozga, već najvjerojatnije ovise o sinergijskom djelovanju različitih područja i različitih struktura mozga.

Kako bi organizam što ranije povratio stanje homeostaze koja je narušena tjelesnom aktivnošću respiracijski centar dobiva podražaje iz perifernih i centralnih kemoreceptora. Glavni periferni receptori su smješteni unutar karotidnih tjelešaca pronađenih u bifurkacijama karotidnih arterija i u manjoj mjeri aorte. Aferentni dio tih receptora reagira na promjene PaO_2 i pH, dok eferentni dio stvara promjene minutne ventilacije kroz središnji respiracijski centar. Karotidna tjelešca također reagiraju na male promjene pH, no potrebno je naglasiti da otprilike 2/3 reakcija na promjenu pH dolazi iz centralnih kemoreceptora (Braun, 1990). Kada se promatra specifičan doprinos karotidnih tjelešaca, Asmussen i Nielsen (1957) dokazali su pojačanu osjetljivost karotidnih tjelešaca na uvjete hipoksije tijekom aktivnosti. Ostali, predloženi stimulusi karotidnih tjelešaca uključuju povećanje amplitude i nagiba krivulje oscilacija arterijske pH (Band i sur., 1980; Cross i sur., 1982) te opterećenjem zavisno povećanje cirkulacije katekolamina ili kalijevih iona (K^+) (Paterson, 1992). Primjerice, infuzijom unošenje koncentracije K^+ iona (Paterson i sur., 1992) i noradrenalina (Heistad i sur., 1972) tijekom vrlo intenzivnih aktivnosti rezultiralo je malim povećanjem ventilacije u mirovanju, koja je nestala nakon primjene uvjeta hiperoksije, ukazujući da su karotidna tjelešca najvjerojatnija mjesta u kojima se to događa, no Bruce i sur. (2019) smatraju da je takva reakcija vođena karotidnim tjelešcima odgovorna za vrlo mali dio normalne ventilacijske reakcije tijekom aktivnosti. Samim time, čini se da su karotidna tjelešca odgovorna za fino podešavanje

ventilacije, ali i da nisu nužna za brzi rast ventilacije na početku aktivnosti, niti za usklađivanje steady-state ventilacije s metaboličkim zahtjevima (Parkes, 2013). Prema tome, obilježja normalne ventilacije možemo opisati kroz tri djela: 1. trenutno povećanje ventilacije na samom početku aktivnosti; 2. bliska povezanost ventilacije s brzinom metabolizma tijekom submaksimalnih aktivnosti; 3. značajan ventilacijski odgovor. Posljedično, odgovorni mehanizmi moraju imati utjecaj na sva navedena obilježja. Pa se tako postavlja teorija da niti jedan od mehanizama samostalno ne može zadovoljiti navedena obilježja te je Dejourn (1963) predložio multi mehanicističku ili neurohumoralnu teoriju. Opravdanost ove teorije Dejourn (1963) potvrđuje činjenicama koje kažu da s obzirom na rast ventilacije unutar prvog daha na početku aktivnosti, nije vjerojatno da nastaje kao posljedica sporog humoralnog mehanizma, već implicira brzi neuralni mehanizam. Nastavno na ovu teoriju, Flanley i Warren (1983) smatraju da do porasta ventilacije tijekom aktivnosti dolazi kao rezultat sumacije različitih stimulusa koji utječu na respiracijske centre. Taj utjecaj se može vidjeti uglavnom kroz neuronske podražaje iz kortiko-spinalnog područja, ali i putem povratne sprege iz arterijskih kemoreceptora koja najvjerojatnije ovisi o brzini promjene oscilirajućeg arterijskog parcijalnog tlaka CO₂. Kod vježbi u hipoksičnim uvjetima potenciranje ventilacijske reakcije u najvećoj mjeri dolazi od povećanja podražaja arterijskih kemoreceptora.

Mišićna vježba izaziva značajan i složen skup fiziološkog stresa na ljudsko tijelo, koje mora primiti brzi adaptacijski odgovor kako bi se održala homeostaza (Bruce i sur., 2019). Ta adaptacija se očituje putem reguliranja ventilacije kroz 3 faze. U prvoj fazi događa se brzo povećanje ventilacije već tijekom prvog daha na početku aktivnosti s vremenom konstante od nekoliko sekundi. Drugu fazu karakterizira spori eksponencijalni rast ventilacije s vremenom konstante od otprilike jedne minute, a koje ovisi o trenažnom opterećenju i trenažnom statusu. Treću fazu karakterizira steady-state stanje ventilacije. No tijekom visoko intenzivnih aktivnosti (iznad anaerobnog praga) nije moguće dosegnuti steady-state stanje ventilacije koja nastavlja rasti tijekom aktivnosti sve do završetka iste. Porastom metaboličkih zahtjeva tijekom aktivnosti, pluća moraju odgovarajućom količinom kisika opskrbljivati i miškulaturu koja dominantno sudjeluje u aktivnosti, ali i respiratornu miškulaturu.

Na početku testa progresivnog opterećenja, minutna ventilacija je dominantno stimulirana putem mehanoreceptora (proprioceptor i mišićno vreteno) smještenim u aktivnoj miškulaturi iz kojih se šalju impulsi do respiratornih centara u mozgu koji onda primarno utječu na povećavanje dišnog volumena, ali i na frekvenciju disanja (Carey i sur., 2008). Unatoč činjenici da su dišni volumen i frekvencija disanja proučavani u manjoj mjeri u odnosu na ventilaciju, odnosno pozadinske mehanizme regulacije, rezultati provedenih istraživanja mogu

sugerirati da podražaji koji pokreću plućnu ventilaciju mogu različito djelovati na frekvenciju disanja i dišni volumen. Jedno od takvih istraživanja pokrenuli su Thornton i sur. (2001) u kojem su nastojali izolirati utjecaj „centralne zapovijedi“ na kardiovaskularne reakcije. „Centralna zapovijed“ predstavlja aktivnost predmotoričkih i motoričkih područja mozga povezanih s voljnom mišićnom kontrakcijom (De Moore i sur., 2012). Thornton i sur. (2001) su definirali izolaciju „centralne zapovijedi“ na način da su ispitanici zamišljali aktivnost pod hipnozom. Dobiveni rezultati na temelju PET SCAN-a pokazali su aktivaciju motoričkih područja mozga kao što su dorzolateralni prefrontalni korteks, primarna i suplementarna motorička područja te mali mozak, ali rezultati ukazuju i na povećanje frekvencije disanja i frekvencije srca za vrijeme hipnozom zamišljene aktivnosti, no indikativno je da kod dišnog volumena do takvih promjena nije došlo. Autori smatraju, da s obzirom na poznatu činjenicu o tome da su navedena područja mozga uključena u motoričku kontrolu, uključujući i voljnu kontrolu respiratorne muskulature (Colebatch i sur., 1991; Ramsay i sur., 1993), vjerojatno je da predstavljaju dio sustava „centralne zapovijedi“. Nadalje, zanimljivo je da rezultati također impliciraju da kardiorespiracijski odgovor na aktivaciju „centralne zapovijedi“ možda ne treba paralelno povećanje centralnog motoričkog protoka (central motor drive) te da je moguće da je percepcija opterećenja to što „vodi“ odgovor.

Nadalje, Bell i Duffin (2006) izvješćuju o trenutnom povećanju frekvencije disanja prilikom promjene iz faze mirovanja u fazu rada (i obrnuto) te pri promjeni iz pasivnog u aktivni položaj kod izvođenja „nožne ekstenzije“, dok do promjene dišnog volumena nije došlo niti u jednom od eksperimentalnih uvjeta. Potvrdu rezultata o različitom djelovanju DV i FD dali su i Nicolo i sur. (2017) analizirajući reakcije dišnog volumena i frekvencije disanja tijekom visoko intenzivnog intervalnog rada (HIIT). Autori su pretpostavili da tijekom visoko intenzivnih aktivnosti (u ovom istraživanju HIIT-a) brzi signali (uključujući i centralnu zapovijed) više doprinose regulaciji frekvencije disanja nego metabolički podražaji. Uistinu, autori su temeljem dobivenih rezultata pokazali da postoji različita reakcija frekvencije disanja u odnosu na reakciju dišnog volumena tijekom ovakvog modaliteta rada. U skladu s ovom premisom autori dokazuju da, manipulirajući intenzitetom oporavka, frekvencija disanja, za razliku od dišnog volumena pokazuje brzu reakciju kao odgovor na promjene faza rada i oporavka.

Dejours, Mithoefer i Labrousse (1957) analizirajući lokalne kemijske promjene u ekstremitetima uslijed tjelesne aktivnosti kao ventilacijski odgovor na istu, navode da rezultati istraživanja mogu ukazivati na postojanje veze između jačine ventilacijskog podražaja iz aktivne muskulature i kemijskog okruženja. No, naglašavaju da nastale lokalne kemijske

promjene ne djeluju neovisno kao ventilacijski podražaj, već imaju neizravan učinak na ventilacijsku reakciju kroz receptore u aktivnoj muskulaturi. U drugoj polovici prošlog stoljeća analiza utjecaja humoralnih čimbenika na ventilaciju bila je predmet istraživanja brojnih znanstvenika (Hesse i sur., 1981), pri čemu su istraživanja bila usmjerena prema učincima katekolamina, prvenstveno epinefrina (adrenalina) i norepinefrina (noradrenalina). Flandrois i sur. (1977) ukazuju da je norepinefrin za razliku od epinefrina više povezan s ventilacijom te da u kontinuiranim aerobnim aktivnostima doseže vrijednosti i do deset puta više u odnosu na vrijednosti u mirovanju (Ahlborg i Felig, 1982). U skladu s tim rezultatima jesu i rezultati istraživanja Clancy-a i sur. (1975) koji su analizirali utjecaj arterijskih katekolamina, norepinefrina kod 4 zdrava muškarca. Oni ukazuju da je u uvjetima hipoksije, pri udisanju 14% O₂ u odnosu na udisanje običnog zraka, došlo do značajnog povećanja koncentracije norepinefrina pri primitku kisika od 1500 ml/min u odnosu na koncentraciju u mirovanju. Temeljem ovih rezultata autori zaključuju da uočene povišene koncentracije norepinefrina u navedenim uvjetima ukazuju na njegov mogući utjecaj na periferne kemoreceptore u hipoksičnim uvjetima kod aktivnosti umjerenog intenziteta.

Kako bi ispitali bihevioralnu pozadinu disanja, Bell i sur. (2005) su napravili zanimljivo istraživanje na tu temu. Naime, oni su proučavali utjecaj bihevioralnog mehanizma odnosno pozadinske „budnosti“ na ventilacijsku reakciju, kad je, čini se, prema autorima, prisutan neuralni podražaj za disanje uz aferentne povratne signale. Kako bi ispitali ovu hipotezu autori su prilikom izvođenja aktivnosti uveli rješavanje kognitivnog zadatka, pri čemu se rješavanje kognitivnog zadatka sastojalo od rješavanja slagalice na računalu. Iako je u takvim uvjetima došlo do inicijalnog povećanja i VE i FD i DV, to povećanje nije bilo značajno manje u takvim eksperimentalnim uvjetima u odnosu na uvjete kontrolne skupine gdje ispitanici nisu imali kognitivni zadatak. Iako dobivena razlika nije statistički značajna, potrebno je naglasiti da je u tim uvjetima došlo do potiskivanja inicijalnog povećanja ventilacije na 37% inicijalnog povećanja ventilacije kontrolne skupine. Iako ovi rezultati ne daju statističku značajnost, autori su dobivene rezultate komparirali s ranijim istraživanjem (Bell i Duffin, 2004) u kojem su istraživali utjecaj inhibicije ventilacije kognitivnim zadatkom na pasivan pokret ekstremiteta i u kojem su također dobili slične relacije. Iako niti u tom istraživanju nije bilo statistički značajne razlike u odnosu na kontrolu skupinu, zanimljiv je podatak da je u tim eksperimentalnim uvjetima inicijalna ventilacija potisnuta na vrijednost od 19% kontrolne skupine. Autori navode mogućnost da „centralna zapovijed“ ili neki drugi pokretač povećanja ventilacije na početku aktivnosti nije dovoljno pobuđen razinom pozadinske „budnosti“ te samim time nema tolike reakcije. Unatoč tome autori navode da pozadinski kognitivni zadatci djeluju inhibitorno na

brzu promjenu ventilacije na početku aktivnosti ili na maksimalno postignutu ventilaciju na početku aktivnosti. Samim time, moguće je da postoji određena uloga bihevioralnog ili bihevioralnih mehanizama u kontroli disanja tijekom aktivnosti, posebno tijekom inicijalne prijelazne faze ventilacijske reakcije na početku aktivnosti.

Jedna vrlo zanimljiva pretpostavka ventilacijskog sustava vezana je uz neuroplastičnost mozga, a zasniva se na hipotezi o uključenosti procesa učenja na ventilacijsku reakciju tijekom aktivnosti. Zanimljivu teoriju predložio je Somjen (1992) u kojoj kaže da centralni živčani sustav anticipira trenutne i buduće potrebe na bazi prošlih iskustava. Prema toj teoriji negativna povratna sprega je od iznimne važnosti kada sustav na temelju „uspješnog ispravljanja pogrešaka“, uči kako ih prevenirati. Ova hipoteza je podržana i na temelju istraživanja Helblinga i sur. (1997) te Turnera i Sumnersa (2002). U istraživanju Helblinga i sur. (1997) ispitanici eksperimentalne skupine su tijekom osam trenažnih dana trening izvodili sa 1.5L dodanog „mrtvog prostora“. Ispitanici su i prije, ali i nakon osam trenažnih dana izvodili istu aktivnost ali bez dodanog „mrtvog prostora“. Rezultat je pokazao da je na početku ponovljene aktivnosti (zbroy prva četiri udaha) nakon osam trenažnih dana došlo do značajnog porasta ventilacije ($31.1 \pm 4.1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$) u odnosu na istu aktivnost, ali prije trenažnih dana $24.4 \pm 3.9 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$) te smatraju da bi dio ventilacijskog porasta na početku aktivnosti mogao biti moduliran naučenom reakcijom. Turner i Sumners (2002) dolaze do sličnih rezultata s vrlo sličnim eksperimentalnim protokolom, pri čemu autori smatraju da se dugoročna modulacija ventilacijske reakcije na početku aktivnosti može pripisati asocijativnom učenju, a ne samo senzibilizaciji na ponovljene aktivnosti. Nadalje, ukoliko su, primjerice, zdravi odrasli ljudi kontinuirano izloženi vježbama koje su obogaćene dodatnim respiracijskim podražajem kao što je povišen parcijalni tlak ugljičnog dioksida, potičući povećanje ventilacije više nego što je metabolička potreba vježbe, sama vježba će nakon ovakvih stimulacijskih aktivnosti izazvati pretjerani ventilacijski odgovor. Na sličan princip ukazuju i Boutellier i sur. (1992) te Kohl i sur. (1997), koji putem provedenih istraživanja demonstriraju da kod sportaša koji 4 – 6 tjedana provode trening izdržljivosti u uvjetima normokapnične hiperpneje, dolazi do povećanja ventilacijskog odgovora na aktivnost. Potencijalni mehanizmi koji bi mogli biti odgovorni za ovakav ventilacijski odgovor na ponovljene serije vježbanja u uvjetima hiperpneje, mogu biti prepoznati kao zakašnjela adaptacija respiratornog centra na, primjerice promjene aferentnog živčanog prijenosa iz receptora respiratorne muskulature, prsnog koša, plućnih i/ili gornjih dišnih putova ili pak na promjene neuromuskularne koordinacije (Spengler, 2002).

Do danas nema dokaza da bilo koji pretpostavljeni mehanizam kontrole ventilacije može pokretati cjelokupnu hiperpneju tijekom stabilnog stanja. Ali nedavni dokazi da bi mehanizmi

mogli djelovati sinergijski kada djeluju u kombinaciji (Alghaith i sur., 2019.; Bruce i White, 2012.; Lykidis i sur., 2010.; Silva i sur., 2018.) mogli bi imati važne implikacije za naše razumijevanje prirode kontrolnog sustava na kojem se temelji ventilacija tijekom vježbanja. Dakle, eksperimentalna stimulacija svakog pretpostavljenog mehanizma zasebno može dovesti do malog ili nikakvog odgovora, ali njihova je kombinacija hiperaditivna, što znači da je krajnji odgovor 'pojačan' (Bruce i sur., 2019). Ukoliko je to istina, ovakva hipoteza bi mogla objasniti poteškoće s kojima su se mnogi istraživači susreli koristeći različite eksperimentalne modele (npr. PECO, pasivno kretanje, unošenje kalijevih iona ili adrenalina). Nadalje, ako postoje takvi multi mehanizmi onda je vjerojatno da će doći do redundantnosti u kontrolnom sustavu (Forster i sur., 2012), što bi objasnilo činjenicu da ukidanje ili inhibicija kontrolnih mehanizama (npr. spinalna anestezija, denervacija karotidnih tjelesaca, električno inducirana mišićna kontrakcija) ima samo mali učinak u odnosu na veličinu ukupnog odgovora, ili uopće nema učinak na ventilaciju (Bruce i sur., 2019).

1.1.2. Utjecaj ugljičnog dioksida (CO₂) na regulaciju disanja

Ugljični dioksid (CO₂) nastaje u staničnom metabolizmu i izdahnut je u atmosferu putem ventilacije. Tijekom tog procesa CO₂ ima fundamentalnu ulogu u regulaciji tjelesnog pH, napetosti krvnih žila (Gilbert, 2005) te kontroli ventilacije (Milsom i sur., 2004). Mišićna vježba izaziva značajan i složen skup fiziološkog stresa na ljudsko tijelo, koje mora provesti brzi adaptacijski odgovor kako bi se održala homeostaza. Rastom mitohondrijske proizvodnje CO₂ prilikom prijelaza iz mirovanja u aktivnost, difuzija CO₂ iz mišićnih vlakana doprinosi lokalnoj arterijskoj vazodilataciji s vremenskim tijekom nešto sporijim u odnosu na aktivaciju mitohondrijske oksidativne fosforilacije. Trenutno povećanje CO₂ u mišićima i potrošnja kisika na početku aktivnosti mora biti povezana s proporcionalnim povećanjem plućne ventilacije i izmjenom plinova kako bi se osiguralo održavanje arterijskih parcijalnih tlakova kisika i ugljičnog dioksida te pH (Bruce i sur., 2019).

Efikasnost kardiorespiratornog sustava nije određena samo količinom dopremljenog i iskorištenog kisika (maksimalni primitak kisika), već i efikasnošću uklanjanja viška ugljičnog dioksida (Brown, 2010; Jones, 2008). Neki istraživači smatraju da bi plućna ventilacija mogla biti limitirajući faktor maksimalne izvedbe kod aerobnih aktivnosti. Jurić i sur. (2019) su nastojali utvrditi kako točno snaga i/ili izdržljivost inspiratorne muskulature može utjecati na ventilacijske i metaboličke parametre nakon anaerobnog praga tijekom kardiopulmonarnog

testiranja na pokretnom sagu. Autori dokazuju da i u anaerobnim uvjetima (od anaerobnog praga pa do maksimalnog intenziteta) plućna ventilacija može biti ograničavajući faktor jer višak metaboličke proizvodnje CO_2 može biti izlučen samo povećanjem ventilacije, a ukoliko snaga i izdržljivost respiratorne muskulature ne zadovoljava povećanu potrebu za ventilacijom, CO_2 u krvi i tkivu će rasti i uzrokovati metaboličku acidozu što će posljedično uzrokovati pad izvedbe respiratorne i skeletne muskulature. Upravo takav fenomen je i vidljivo iz negativne povezanosti snage inspiratorne muskulature sa VCO_2 i RER u zoni nakon drugog ventilacijskog praga i maksimalnog intenziteta. Jedan od mogućih mehanizama koji izaziva takav slijed događaja u organizmu naziva se metaborefleks respiratorne muskulature. Povećanje plućne ventilacije tijekom aktivnosti omogućuje plućima adaptaciju parcijalnog tlaka ugljičnog dioksida u arterijama (PaCO_2), dok respiracijski sustav pomaže kontrolirati koncentraciju vodikovih iona u izvanstaničnim tekućinama (Wyatt i McCarthy, 2003). Međutim, smanjena plućna ventilacija uzrokuje povećanje PaCO_2 u krvi, pri čemu je povećan PaCO_2 povezan s većom acidozom krvi i tkiva (Bussotti i sur., 2008). Istovremeno povećanje parcijalnog tlaka ugljičnog dioksida i smanjenje pH krvi nepovoljno utječe na kontraktilna svojstva i metabolizam (limitirajući aktivnost enzima) i doprinosi umoru (Jones, 2008; Kapus i sur., 2009). Kao rezultat, viši PaCO_2 može ukazivati na nedovoljno povećanje plućne ventilacije tijekom aktivnosti, a samim time i ograničava maksimalno izvođenje aktivnosti (Hebisz i sur., 2013). To se događa prvenstveno zbog nakupljanja metabolita (smanjenje pH, povećanje koncentracije CO_2 i vodikovih (H^+) iona). Zatim, karotidna tjelešca smješta u bifurkacijama karotidnih arterija registriraju promjene u krvi uzrokovane metabolitima koji narušavaju acido-baznu ravnotežu (CO_2 , H^+ ioni) i prema tome povećavaju ventilaciju (respiratorno puferiranje metaboličke acidoze).

Akutna voljna hiperventilacija izaziva povećanu koncentraciju izdahnutog CO_2 , a samim time i snižava parcijalni arterijski tlak CO_2 , parcijalni tlak CO_2 na kraju izdaha te smanjuje koncentraciju H^+ iona. Nadalje, hiperventilacijom inducirana hipokapnička alkalozna izaziva sporiju prilagodbu plućnog pritiska kisika (Chin i sur., 2007; Chin i sur., 2010; Hayashi i sur., 1999) i sporiji, ali veću razgradnju mišićnog fosfokreatina (Forbes i sur., 2007).

Forster i sur. (2012) naglašavaju da postoje tri vrste neuralnih mehanizama povezanih s metaboličkom proizvodnjom i uklanjanjem CO_2 : mehanizam kemorefleksa, mehanizam centralne zapovijedi i mehanizam neuralne povratne sprege u mišićima ili takozvani somatski mehanizam povratne sprege.

U svom preglednom radu usmjerenom na analizu neuralne kontrole disanja putem uspostavljanja homeostaze CO₂, Guyenet i Bayliss (2015) najveći akcent stavljaju prema klasteru respiratornih centralnih neurona nazvanom RTN. Autori dalje navode rezultate koji ukazuju da gensko uklanjanje ovog klastera neurona, centralni respiratorni kemorefleks svodi gotovo na minimum. Kako bi se mogla registrirati promjena CO₂ kod RTN-a potrebna su dva protonska receptora (TASK-2 i GPR4) koja su nužna za detekciju promjene pH u mozgu. Prema tome, stimulacijski utjecaj parcijalnog tlaka CO₂ u mozgu na disanje je nedvojbeno posredovan promjenama vodikovih iona u mozgu koji su detektirani putem RTN neurona, i potvrđuju pretpostavku Loeschcke-a (1982) o postojanju specifičnih kemoreceptora u rostralnom dijelu produžene moždine. Nadalje, RTN neuroni i karotidna tjelešca rade u bliskoj povezanosti kako bi stimulirali ili smanjili disanje kao reakciju na hipo ili hiperventilaciju. Tu povezanost je moguće uočiti u uvjetima hipoksije kada je izazvana stimulacija ventilacije upravo hiperaktivnošću karotidnih tjelešaca te smanjenom aktivnošću RTN neurona uzrokovanom popratnom alkalozom. Vrijedi i obrnuto, kada je aktivnost karotidnih tjelešaca smanjena, primjerice u uvjetima hiperoksije, doprinos RTN neurona raste i pritom minimizira respiratorni deficit (Guyenet i Bayliss (2015).

Centralni kemoreceptori su osjetljivi na vodikove ione unutar izvanstanične tekućine mozga, opskrbljeni putem CO₂ koji slobodno difundiraju kroz krvno-moždanu barijeru. Periferna mjesta sposobna za kemorecepciju uključuju karotidna tjelešca i aortna tjelešca pri čemu se smatra da su karotidna tjelešca važnija. Njihove glomusne stanice tipa 1 su osjetljive na raznovrsne kemijske signale, kao što su primjerice parcijalni tlak O₂ i CO₂, pH, K⁺ ioni, katekolamini koji su inervirani putem karotidnog ogranka glosofaringealnog živca (Kumar i Prabhakar, 2012). Iako su kemoreceptori stimulirani i putem hiperkapnije i hipoksemije, potrebno je naglasiti da su mnogo osjetljiviji na uvjete hiperkapnije (Lumb, 2017). Ova hipoteza je višestruko istraživana, ali sa oprečnim rezultatima. U pojedinim istraživanjima je inhalirani CO₂ doveo do povećanja osjetljivosti na takav inhalirani CO₂ (Cummin i sur., 1986; Weil i sur., 1972), dok kod drugih istraživanja nije utvrđena nikakva promjena (Asmussen i Nielsen, 1957; Duffin i sur., 1980). Razlog različitosti može biti u trenažnom statusu s obzirom da isti može utjecati na promjenu osjetljivosti na CO₂ iz stanja mirovanja u stanje aktivnosti (McConnell i Semple, 1996). Međutim, s obzirom da se PaCO₂ mijenja jako malo tijekom aktivnosti i s obzirom da prag osjetljivosti reakcija perifernih i centralnih receptora na CO₂/H⁺ također ostaje nepromijenjen (Casey i sur., 1987; Duffin i McAvoy, 1988), bilo koje povećanje kemosenzitivnosti bi bilo samo jedan mali dio u normalnoj reakciji ventilacijskog odgovora na aktivnost. Bez obzira na ove rezultate, postoje dokazi kod životinja koji ukazuju da su RTN

serotoninergični neuroni aktivni tijekom dinamičkih vježbi (Barna i sur., 2012; Veasey i sur., 1995), sugerirajući da centralni kemoreceptori mogu regulirati hiperpneju tijekom aktivnosti putem mehanizama koji su neovisni od PaCO_2/H^+ (Guyenet & Bayliss, 2015).

Utjecaj CO_2 na kontrolu ventilacije, dišnog volumena i frekvenciju disanja istraživali su još početkom 20. stoljeća Haldan i Priestley (1905) koji su se prvenstveno bavili značajnošću parcijalnih arterijskih tlakova O_2 i CO_2 u regulaciji ventilacije, te su pretpostavili da hiperpneja tijekom mišićnog rada nastaje kao posljedica povećane metaboličke proizvodnje CO_2 . No, Douglas i Haldane (1909) primjećuju da ne dolazi do značajnog povećanja PaCO_2 tijekom aktivnosti blagog do umjerenog intenziteta u odnosu na vrijednosti u mirovanju, pa samim time ne može proizvesti značajan stimulus koji će dovesti do povećanja disanja.

Potvrdu hipoteze o različitim pozadinskim mehanizmima dali su Nicolo i sur. (2017) čiji rezultati su bili slični rezultatima istraživanja Gelfanda i Lambertsena (1973) te nešto kasnije Duffin i sur. (2000) ali i Mateika i sur. (2004) analizirajući utjecaj metaboličkih stimulusa (hiperkapnija i hipoksija) na ventilaciju. Gelfand i Lambertsen (1973) su navedenim istraživanjem dokazali da prilikom nagle promjene koncentracije udahnutog CO_2 dolazi do značajne promjene dišnog volumena s neznajnim promjenama u frekvenciji disanja. Rezultati Duffina i sur. (2000) pokazuju da u uvjetima progresivnog povećanja hiperkapnije prvo dolazi do povećanja dišnog volumena, a da do povećanja frekvencije disanja dolazi tek kada hiperkapnija dosegne značajnu razinu. I kada je riječ o hipoksiji, rezultati ukazuju na sličan obrazac, naime u uvjetima intermitentne hipoksije Mateika i sur. (2004) uspjeli su dokazati da dolazi do značajnog povećanja dišnog volumena dok u isto vrijeme nije došlo do nikakve promjene frekvencije disanja. Učinak mehanizma CO_2 na FD i DV proučavali su i Haouzi i Bell (2009) gdje su na 6 zdravih ispitanika muškog spola, u uvjetima voljne kontrole frekvencije disanja ustvrdili da postoji inherentan fundamentalni mehanizam. Taj mehanizam na osnovi pozadinske razine CO_2 i metabolizma, korigira dišni volumen na osnovi frekvencije disanja kako bi alveolarnu ventilaciju održavao konstantnom, pri čemu je potrebno naglasiti da su ovi rezultati bili konzistentni neovisno o uvjetima testiranja (povećanom „mrtvom prostoru“, uvjetima hiperkapnije ili vježbe niskog intenziteta). Nastavno na istraživanje Haouzia i Bella (2009) slijedilo je istraživanje Ohashia i sur. (2103) koji ukazuju da je u uvjetima mirovanja homeostaza CO_2 narušena ili smanjena kada dolazi do voljne kontrole dišnog volumena u odnosu na frekvenciju disanja, te su osim toga ustvrdili da postoje određeni limiti u kontroli homeostaze CO_2 putem automatske regulacije FD, najvjerojatnije zbog osjetljivosti frekvencije disanja na ne metaboličke faktore.

Nova saznanja istraživanja Haouzia i Bella (2009) vode u smjeru analize povezanosti kortikalno usmjerenog ritma i dubine disanja (dišnog volumena) koja je značajno pod utjecajem razine parcijalnog tlaka ugljičnog dioksida i brzine metabolizma (potrošnje energije). Isti autori (Haouzi i Bell, 2009) navode da s porastom energetske potrošnje, čak i nekoliko puta, arterijski parcijalni tlak CO_2 je održavan u domeni konstantnih vrijednosti s odgovarajućim povećanjem alveolarne ventilacije. Kao rezultat, promjena dišnog volumena i ventilacije, a na osnovi promjene frekvencije disanja, utječe na preveniranje ili sprečavanje značajnih promjena alveolarne koncentracije CO_2 . Samim time, rezultati istraživanja pokazuju da ne dolazi do značajnih promjena PaCO_2 uslijed varijacija frekvencije disanja kroz regulaciju dišnog volumena (DV).

Respiratorni sustav regulira veličinu dišnog volumena na bilo kojoj vrijednosti frekvencije disanja temeljem stvaranja CO_2 . Iako je veza između aferentnih signala i metabolizma predmet različitih debata, istraživanje Haouzia i Bella (2009) je pokazalo da postoji fundamentalna veza između ventilacije i metabolizma bez obzira na činjenicu da je frekvencija disanja bila pod voljnom kontrolom i nije mogla biti pod utjecajem autonomnih centara smještenih u produženoj moždini. Prema tome, moguće je zaključiti da voljno kontrolirana ventilacija može uzajamno djelovati s kemijskim i ne kemijskim aferentnim povratnim signalima s ciljem usklađivanja ventilacije s izmjenom plinova u plućima. Dodatno, kada je frekvencija disanja voljno kontrolirana, dolazi do smanjenja dišnog volumena do mjere koja omogućuje da alveolarna ventilacija ostane konstantna. Upravo ovakva pojava podrazumijeva postojanje određenog pozadinskog fundamentalnog mehanizma koji može biti unutarnje svojstvo respiratornog sustava. Potrebno je naglasiti da je ovaj mehanizam, koji kontrolira razinu dišnog volumena na osnovi frekvencije disanja pod utjecajem alveolarnog parcijalnog tlaka ugljičnog dioksida (PaCO_2) i brzine energetske potrošnje (Haouzi i Bell, 2009).

1.2. Subjektivna percepcija opterećenja u funkciji regulacije disanja

Pragovi umora, kao što su prag izmjene plinova, respiratorna kompenzacijska točka, OBLA (onset of blood lactate accumulation), prag tjelesnog radnog kapaciteta određen temeljem frekvencije srca (PWC_{HRT}) ili temeljem primitka kisika (PWC_{VO_2}) te elektromiografski prag umora, su korišteni s ciljem odjeljivanja zona intenziteta u kojima dolazi i zona u kojima ne dolazi do umora, zatim, definiranja zona različitog intenziteta (laki, srednji,

teški), određivanja intenziteta tijekom treninga te istraživanja mehanizama umora (Cochrane i sur., 2015). Svi ti pragovi definirani su na temelju različitih fizioloških parametara i parametara izvedbe. Unutar određene koherentne skupine postoje individualne razlike u metaboličkim reakcijama pojedinaca na relativni intenzitet opterećenja (Katch i sur., 1978; Scharhag-Rosenberger i sur., 2010). Pravilno odabran intenzitet tjelesne aktivnosti jedna je od pretpostavki koja se mora uzeti u obzir prilikom planiranja željenih fizioloških adaptacija na određeni trenažni podražaj (Riebe, i sur., 2017).

Prilikom određivanja intenziteta određenog trenažnog operatora, prihvaćene su vrijednosti trenažnih pragova intenziteta definirane temeljem koncentracije laktata u krvi i/ili iz vrijednosti ventilacijskih pragova, i kao takvi su postali preferiran način definiranja intenziteta vježbanja (Mezzani, i sur., 2012). Kako je za određivanje intenziteta aktivnosti putem ventilacijskih i laktatnih pragova nužnost primjene maksimalnih testova, posjedovanje adekvatne aparature te osoblja odnosno stručnjaka osposobljenih za podešavanje (kalibraciju) intenziteta (Arney i sur. 2019), ponekad ovakav način određivanja pragova postaje neprikladan. No, kako je subjektivna percepcija opterećenja istraživana već dugi niz godina, Mielke i sur. (2008) predlažu definiranje praga zamora upravo pomoću tog parametra, koji je još poznat i kao prag tjelesnog radnog kapaciteta na temelju subjektivne percepcije opterećenja. Subjektivna percepcija opterećenja definira se kao sposobnost pojedinca da prepozna određenu razinu intenziteta pri zadanoj tjelesnoj aktivnosti. U istraživanjima je uočeno da SPO raste linearno tijekom opterećenja, s približno maksimalnim vrijednostima na kraju testa. Jedna od najčešće primjenjivanih supstitucijskih mjera u lošijim i/ili neprimjerenijim trenažnim uvjetima je upravo primjena subjektivne percepcije opterećenja (SPO) temeljem Borgove skale. O valjanosti pragova definiranih temeljem SPO govore i rezultati istraživanja koje su proveli Mielke i sur. (2008), u kojoj je sudjelovalo 15 ispitanika, pri čemu se protokol izvodio na bicikloergometru. Dobiveni rezultati su pokazivali da kod usporedbe pragova definiranih putem SPO prema Borgovoj skali i OMNI skali u odnosu na pragove definirane putem primitka kisika, frekvencije srca ili dišnog volumena nije bilo razlike.

Enoka i Stuart (1992) ukazuju na važnost osjećaja opterećenja kao važne komponenta umora. Centralni signali opterećenja, prema Robertsonu (1982) objedinjavaju osjećaj ventilacijske funkcije i nelagodu tijekom disanja, pri čemu osjećaj ventilacijske funkcije, u koji možemo ubrojiti osjećaj nedostatka daha i dispneju predstavljaju jedine središnje signale pod svjesnim nadzorom. Sukladno tome, isti autor navodi da postoji velika i značajna povezanost ovih signala, izraženih putem indeksa, s brzinom disanja gdje je koeficijent korelacije $r = 0,94$ (Weiser i Stamper, 1977). No, neovisno o tome, u brojnim je istraživanjima pronađena značajna

i visoka povezanost ventilacije i brzine disanja sa subjektivnom percepcijom opterećenja, s rasponom koeficijenta korelacije od $r=0,61$ do $r=0,94$ (Edwards i sur., 1972; Noble i sur., 1973; Skinner i sur., 1969; Smutok i sur., 1980).

U jednom od ranijih istraživanja s pokušajem utvrđivanja podrijetla centralnih percepcijskih signala, Morgan i sur. (1976) utvrđuju da kod ispitanika pod hipnotičkim sugestijama, dolazi do povećanja ventilacije i subjektivne percepcije opterećenja prilikom zamišljenog uspinjanja te smanjenja istih parametara prilikom zamišljenog spuštanja niz brijeg pa sve do ravne površine. Sukladno tome, autori zaključuju da viši ventilacijski odgovor tijekom sugestivnog penjanja uz brijeg tijekom hipnoze osigurava značajne senzoričke signale (podražaje) koji omogućuju da percepcija napora bude intenzivnija.

Kao što je već ranije navedeno, da bi se mogao proučavati utjecaj mehanizama na regulaciju disanja, ponekad je potrebno imati integrativni pristup analizi. Za primjer može se navesti istraživanje Wolkove i sur. (1981) koje kaže da je transmisija signala iz mehanoreceptora prema senzomotoričkom korteksu pod svjesnom kontrolom kada dišni volumen pređe vrijednosti od 700mL te se čini da dolazi do pojave snažnijih signala kada se dišni volumen približi svojim gornjim granicama. U mirovanju, ventilacijske funkcije su kontrolirane putem perifernih i centralnih kemoreceptora, no kako ventilacija tijekom aktivnosti raste, dio regulacijskih funkcija preuzimaju mehanoreceptori u prsnoj koši, plućima i dišnim putevima. Ti senzorni receptori reagiraju na promjene plućnog volumena, tlaka u plućima, kontrakciji respiratorne muskulature, a svi oni su determinirani plućnim volumenom (Robertson, 1982). Također je značajno da dišni volumen doseže svoje gornje granice pri intenzitetu od 50% VO_{2max} , što je približno intenzitet pri kojem krivulje VE i SPO počinju imati paralelan smjer (Robertson, 1982). Nastavno na ovakva zapažanja i povezivanja obilježja subjektivne percepcije opterećenja s drugim fiziološkim parametrima, Nicolo i sur. (2016) nastoje utvrditi neka nova obilježja SPO-a i to kroz analizu utjecaja trajanja aktivnosti na istu. Kao rezultat provedenog istraživanja došli su do saznanja da od svih analiziranih fizioloških (kardiovaskularnih i respiratornih) varijabli upravo frekvencija disanja pokazuje najvišu povezanost sa subjektivnom percepcijom opterećenja, ali i najveću konzistentnost bez obzira na trajanje aktivnosti. Isto tako, pokazali su da samo FD ima snažnu linearnu povezanost sa SPO tijekom cijelog trajanja aktivnosti, dok je povezanost između VE i frekvencije srca (FS) sa SPO moguće bolje opisati putem nelinearne funkcije posebice kada se gleda cjelokupno trajanje aktivnosti. Autori dalje navode, da upravo ova snažna povezanost SPO i frekvencije disanja ukazuje na ulogu „centralne zapovijedi“ u regulaciji ventilacije i subjektivne percepcije opterećenja tijekom aktivnosti.

Sam pojam „centralna zapovijed“ odnosi se na aktivnost predmotoričkih i motoričkih područja mozga zaduženih za voljnu mišićnu kontrakciju (De Morree i sur., 2012). Posljedično, slanje signala iz „centralne zapovijedi“ prema lokomotornoj muskulaturi, utječe i na podraživanje središnjih respiratornih centara produžene moždine odgovornih za pokretanje ventilacije tijekom aktivnosti (Paterson, 2014), ali i senzorička (osjetilna) područja mozga odgovorna za percepciju opterećenja (Berchicci i sur. 2013; De Morree i sur., 2014; De Morree i sur., 2012; Enoka i Stuart, 1992; Marcora, 2009). Sukladno tome, prezentirane su dvije neurofiziološke poveznice između frekvencije disanja i subjektivne percepcije opterećenja. Prvu vezu predstavili su Bell i Duffin (2006) te Thornton i sur. (2001), a koja ukazuje na činjenicu da frekvencija disanja, a ne dišni volumen, reagira na centralnu zapovijed prema lokomotornoj muskulaturi. Drugu vezu određuje činjenica da se odašiljanje signala iz „centralne zapovijedi“ prema respiratornoj muskulaturi projicira u senzoričkim (osjetilnim) područjima mozga generirajući respiratorni napor (De Morree i Marcora, 2015; Laviolette i Laveneziana, 2014; O'Donnell i sur., 2007), što predstavlja još jednu komponentu ukupnog percipiranog zamora (Marcora, 2009; Stendardi i sur., 2005). Prema tome, s obzirom na vidljive neurofiziološke veze između frekvencije disanja i subjektivne percepcije opterećenja vrlo je mala vjerojatnost slučajne povezanosti ovih varijabli (Nicolo i sur., 2016).

Potrebno je napomenuti da se vrlo često provode analize povezanosti frekvencije disanja i subjektivne percepcije opterećenja kako bi se mehanizmima koji stoje u pozadini ove povezanosti nastojalo objasniti mehanizme koji utječu na frekvenciju disanja tijekom aktivnosti (Nicolo, 2018). S ciljem objašnjenja pozadinskih mehanizama ovih fenomena, vrlo često se koriste eksperimentalni protokoli u kojima se izvode različite manipulacije subjektivne percepcije opterećenja. Jedna od takvih manipulacija je i izvođenje aktivnosti pod kontinuiranom, unaprijed definiranom subjektivnom percepcijom opterećenja. Kada se primjenjuje ovakav modalitet protokola, i kada je SPO unaprijed definirana i fiksirana na relativno visokim intenzitetima opterećenja, s vremenom dolazi do opadanja izlazne snage, ali i fizioloških varijabli kao što su VO_2 , VE i FS, ali ne i FD koja ostaje relativno stabilna. Autori smatraju da ovi rezultati potvrđuju hipotezu o tome da grupa III aferentnih vlakana povezanih s mehaničkim promjenama unutar aktivne i respiratorne muskulature, može utjecati na percepcijske i respiracijske reakcije povezane s frekvencijom disanja koja je, čini se neovisna od energetske potrošnje, kardiovaskularnim i ventilacijskim odgovorima (Cochrane i sur., 2015). No, unatoč tome, Nicolo i sur. (2018) smatraju da bi dokazi o mehanicističkoj povezanosti SPO i FD bili čvršći i jasniji ukoliko bi frekvencija disanja pratila strukturalne promjene subjektivne percepcije opterećenja unutar pojedinog protokola. Autori su djelomično

i potvrdili svoja očekivanja, na način da su rezultati ukazivali da je FD vrlo osjetljiva na uvjete vježbanja kada su relativno visoke, a ne niske vrijednosti SPO dosegnute. Razlog, zašto djelomično, leži u činjenici da kod protokola umjerenog intenziteta nije došlo do potpunog poklapanja krivulja FD-a i SPO-a, već je došlo do njihove disocijacije što se može pripisati činjenici da jačina promjene impulsa koji aktiviraju FD nije bila dovoljno velika kako bi proizvela značajnu promjenu. Zašto nije bila, može značiti da „centralna zapovijed“ koja regulira brze impulse nije toliko pod utjecajem opterećenja, već pod utjecajem percipiranja napora (Nicolo i sur., 2017b).

Svaka osoba ispoljava različitu razinu senzibiliteta na hipoksiju, neki reagiraju izraženije od drugih, pri čemu potonji pate od viših razina hipoksemije (Chapman i sur., 1999) i dispneje (Amann i sur., 2006) tijekom submaksimalnih i maksimalnih aktivnosti. Zamoran rad inspiracijske muskulature povezan je sa značajnim neuralnim i kardiovaskularnim posljedicama. Početak zamora inspiratorne muskulature kod zdravih osoba rezultira sa povećanjem mišićne simpatičke neurološke aktivnosti u jedinici vremena, frekvencije srca, prosječne vrijednosti arterijskog tlaka (St Croix i sur., 2000) te postepenom smanjenju arterijskog protoka u ekstremitete koji miruju (Sheel i sur., 2001). Nadalje, istraživanje na štakorima je pokazalo da umarajuće kontrakcije ošita uzrokuju povećanje aktivnosti tipa IV aferentnih vlakana povezanih sa povećanim simpatičkim odljevom (Hill, 2000). Povezano sa izraženom hiperventilacijom ili dispnejom tijekom intenzivne aktivnosti u uvjetima hipoksije, respiratorni mišići mogu postati umorni a akumulacija metabolita u tim mišićima aktivira aferentna frenična vlakna čime dolazi do povećanje simpatičke vazokonstriktorske aktivnosti u aktivnom mišićju (Harms, 2007). Ta reakcija je nazvana respiratorni mišićni metaborefleks (Di Prampero, 1985). Hansen i sur. (2000) smatraju da metaborefleks koji potječe iz respiratorne muskulature smanjuje protok krvi kod aktivnih ekstremiteta u korist respiratornih mišića. Prilikom testova do iscrpljenja, disanje pod takvim opterećenjem inducira simpatičku vazokonstrikciju u skeletnih mišića (Sheel i sur., 2001; St Croix i sur., 2000), odnosno reakciju za koju se čini da je posredovana živčanim vlaknima senzitivnim na akumulaciju metabolita (Hill, 2000; Rodman i sur., 2003). Hiperventilacija inducirana vježbom zahtjeva brzu aktivaciju inspiracijskih i ekspiracijskih mišića, te ako intenzitet aktivnosti prođe 80% maksimalnog intenziteta doći će do značajne pojave zamora dijafragme i ekspiracijskih mišića (Johnson i sur., 1993; Taylor i sur., 2006). Zamor dijafragme kvantificiran je smanjenjem ispoljene sile kao odgovor na supramaksimalnu stimulaciju freničnog živca (Babcock i sur., 1995; Babcock i sur., 2002; Johnson i sur., 1993). Tako vježbom inducirani zamor respiratorne muskulature ne ograničava hiperventilacijsku reakciju tijekom aktivnosti. No, on aktivira metaborefleks iz

zamorene dijafragme (Hill, 2000) koji uzrokuje simpatičku ekscitaciju i vazokonstrikciju žila aktivnog mišićja, što rezultira smanjenim krvnim protokom. Ovaj metaborefleks inspiratorne muskulature može generirati vazokonstrikciju neaktivnog skeletnog mišićja (Dempsey i sur., 2002) ali i radne muskulature (Harms i sur., 1997, 1998, 2000), ograničavajući tjelesnu izvedbu smanjenjem krvnog protoka do aktivne muskulature (Dempsey i sur., 2008).

1.3. Trenažni status i tehnika disanja

Kada je riječ o trenažnom statusu i ventilacijskom odgovoru postavlja se jedno vrlo zanimljivo pitanje. Kako sportaši dišu, odnosno, da li se obrazac ventilacijske reakcije na istu aktivnost, ali kod sportaša koji dolaze iz različitih sportskih grana razlikuje? Neke od odgovora na ova pitanje može ponuditi istraživanje Lemirea i sur. (2018) s ciljem analize kardiorespiratorne reakcije organizma na aktivnosti dominantno ekscentričnog i koncentričnog karaktera. Kako bi što bolje shvatili fiziološke promjene koje se događaju kod takvih aktivnosti, ispitanici su bili podvrgnuti u dva eksperimentalna protokola koje je karakterizirao različiti nagib pokretnog sagra, simulirajući trčanje uzbrdo sa nagibom od 15% i simulirajući trčanje nizbrdo sa nagibom od -15%. Dobiveni rezultati ukazuju na različit respiracijski odgovor s obzirom na aktivnosti dominantno ekscentričnog karaktera u odnosu na aktivnost dominantno koncentričnog karaktera. Uspoređujući plućnu ventilaciju tijekom ove dvije aktivnosti vidljivo je da se značajno razlikuje obrazac kretanja VE s time da je plućna ventilacija značajno viša kod trčanja „uzbrdo“, neovisno da li je mjerena u 3' ili 15' aktivnosti, ali da se veličina VE značajno razlikuje i unutar pojedine aktivnosti sa značajno višom vrijednosti u 15' simulacije trčanja „uzbrdo“. Kod trčanja „nizbrdo“ dolazi do obrnutih vrijednosti sa značajno manjom vrijednosti VE u 15', ali samo ako se vrijednost pogreške poveća sa 0.05 na 0.1. Odgovor i trend dišnog volumena i frekvencije disanja tijekom spomenutih aktivnosti je različit. Frekvencija disanja značajno je viša kod trčanja nizbrdo u odnosu na trčanje uzbrdo i značajno je viša kod trčanja uzbrdo u 15' u odnosu na 3'. Kod trčanja nizbrdo nema statistički značajne razlike u vremenu mjerenja, dišni volumen je značajno viši kod trčanja uzbrdo u odnosu na trčanje nizbrdo, te je kod trčanja uzbrdo u 15' značajno niži nego u 3' mjerenja, dok s druge strane kod trčanja nizbrdo nema značajnih razlika u DV kada se za kriterij uzme vrijeme mjerenja. Evidentno je temeljem ovako dobivenih rezultata da aktivnosti ekscentričnog i koncentričnog karaktera ispoljavaju različit respiracijski odgovor organizma. Mogući razlozi mogu biti u

perifernim kemoreceptorima, ali i u mogućnosti da FD može biti pod utjecajem „centralne zapovijedi“.

Pitanjima tehnike disanja kod sportaša različitih sportova bavili su se Durmić i sur. (2015). Autori su na uzorku od 150 sportaša koji su dolazili iz 4 sporta (košarka, nogomet, vaterpolo i rukomet) analizirali razlike u spirometrijskim pokazateljima (FVC, FEV1, VC i MVV), te su utvrdili da vaterpolisti imaju najviše vrijednosti ovih pokazatelja. Ono, što bi bilo zanimljivo za napraviti, a što autori nisu, je vidjeti kakav je uzorak disanja sportaša u navedenim sportovima, odnosno da li se tehnika disanja vrhunskih sportaša razlikuje. Salzar-Martinez i sur. (2016) su napravili istraživanje upravo u tom smjeru. Naime, na uzorku od 42 profesionalna biciklista analizirali su utjecaj treninga na ventilacijsku efikasnost i tehniku disanja tijekom trogodišnjeg vremenskog perioda. Smatrali su da pod utjecajem velike količine trenažnog rada i natjecanja dolazi do promjene kontrole ventilacijske efikasnosti kao što se to događa s drugim varijablama izvedbe, ali i respiratornim varijablama. Dobiveni rezultati pokazali su da ne dolazi do promjene ventilacijske efikasnosti te da se također ni tehnika disanja nije promijenila tijekom promatranog perioda od tri godine. Samim time, čini se da centar za respiracijsku kontrolu koji regulira ventilacijsku efikasnost djeluje u uskim rasponima i nije ga moguće promijeniti kroz trenažni proces i natjecanje. Ovakve su rezultate Salzar-Martinez i sur. (2018) potvrdili istražujući utjecaj HIIT treninga na ventilacijsku efikasnost te su dobili rezultate koji su upravo pokazali ispravnost tvrdnje o nepromijenjenosti ventilacijske efikasnosti uslijed trenažnog procesa. Istraživanja Czube i sur. (2013) i Kilena i sur. (2014) također su pokazala, analizirajući HIIT trening u trajanju od 3 odnosno 12 tjedana, da nema nikakvog utjecaja na dišnu ventilaciju te na maksimalnu frekvenciju disanja.

S druge strane kod zdravih ljudi Witt i sur. (2007) su dokazali da trening respiratorne muskulature utječe na odgođenu pojavu respiratornog metaborefleksa u normalnim uvjetima i poboljšanjem izvedbe. Čini se vrlo mogućim da trening respiratorne muskulature ima još djelotvorniji efekt na izvedbu u uvjetima hipoksije. Na maksimalnim intenzitetima (iznad 85% VO_{2max}) (Harms i sur., 1997) i tijekom vježbanja u uvjetima hipoksije (Downey i sur., 2007), aktivacija metaborefleksa respiratorne muskulature uzrokuje vazokonstriksijski refleks lokomotorne muskulature (Witt i sur., 2007; Romer i Polkey, 2008). Smatra se da je to adaptacijski mehanizam kako bi se očuvala funkcija pluća i prokrvljenost respiratorne muskulature u uvjetima maksimalnih fizioloških zahtjeva, i konačno, osigurala odgovarajuća opskrba kisikom i mozga i srca (Seals, 2001). Dokazano je da tijekom maksimalnih i submaksimalnih aktivnosti u uvjetima hipoksije, trening respiratorne muskulature efikasno inhibira metaborefleks respiratorne muskulature (Illis i sur., 2012) te povećava protok krvi u

lokomotornom mišićju (McConnell i Romer, 2004). Taj adaptacijski odgovor pomaže u snižavanju percepcije opterećenja u uvjetima dispneje (Romer i sur., 2002b) i poboljšava efikasnost respiratornih mišića (Salazar-Martínez i sur., 2017). Brojna istraživanja ukazuju da trening respiratorne muskulature smanjuje prijevremen zamor respiratorne muskulature koja je izložena maksimalnim zahtjevima kod sportaša te penjača izloženih hipoksiji (Verges i sur., 2010). Preliminarni rezultati ukazivali su na poželjne efekte treninga respiratorne muskulature u uvjetima normoksije na izdržljivost i snagu respiratorne muskulature, odgađanje pojave respiratornog metaborefleksa (Dempsey i sur., 2006), akumulacije laktata (Verges i sur., 2010), hipoksemije (Downey i sur., 2007) i simpatičku aktivaciju (McConnell i Romer, 2004). Nadalje, trening respiratorne muskulature poboljšava kapacitet uklanjanja i toleranciju na laktate i koncentraciju vodikovih iona, posebno u respiratornim mišićima (McConnell i Sharpe, 2005; Johnson i sur., 2007; Brown i sur., 2012). U uvjetima normoksije takav aspekt je opisan kao pozitivan za unaprijeđenje oporavka tijekom visokointenzivnih intervalnih aktivnosti (Brown i sur., 2010). Dodatno, pomaže u poboljšanju metaboličkog praga i trenažnom tempu u stabilnim laktatnim uvjetima (Brown i sur., 2012). Prema tome, jačanje respiratorne muskulature direktno doprinosi odgađanju pojave zamora respiratorne muskulature putem slabljenja pojave vazokonstriktorskog efekta (Harms i sur., 1997, 1998; Romer i sur., 2006). Idealno, ovakve pozitivne reakcije bi trebale biti korisne u smislu poboljšanja respiratorne muskulature prije izlaganja uvjetima hipoksije ili natjecanja u uvjetima hipoksije ili na većim nadmorskim visinama (Downey i sur., 2007; Esposito i sur., 2010).

2. CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Ova doktorska disertacija ima četiri temeljna cilja i jedan eksplorativni cilj. Prva skupina ciljeva usmjerena je prema analizi razlika u trendu ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja s obzirom na zonu opterećenja iznad i ispod anaerobnog praga, dok je druga skupina ciljeva usmjerena prema analizi razlika u povezanosti ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja također s obzirom na zonu intenziteta iznad i ispod anaerobnog praga. Osim ovih temeljnih ciljeva, definiran je i jedan eksplorativni cilj usmjeren na analizu ventilacijskih, metaboličkih i konativnih parametara s obzirom na sportsku specijalizaciju.

Konkretno, ciljevi su definirani na sljedeći način:

Cilj 1. Analiza razlika trenda ventilacijskih (DV, FD, VE) i metaboličkih (VCO_2 , FeO_2 i $FeCO_2$) parametara u zoni intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga

Cilj 2. Analiza razlika trenda SPO u zoni intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga

Cilj 3. Analiza razlika u povezanosti ventilacijskih i metaboličkih parametara u zoni intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga

Cilj 4. Analiza razlika povezanosti ventilacijskih i metaboličkih parametara sa SPO u zoni intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga

EKSPLORATIVNI CILJ: Analiza razlika ventilacijskih i metaboličkih parametara te SPO kod atletičara/trkača s dominantnim udjelom aerobnog te anaerobnog metabolizma

Temeljem navedenih ciljeva proizlaze sljedeće hipoteze:

Iz prvog cilja istraživanja proizlaze sljedeće hipoteze:

- ❖ **H1.1.** Postoji statistički značajna razlika u trendu promjene ventilacijskih parametara u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta iznad anaerobnog praga
- ❖ **H1.2.** Postoji statistički značajna razlika u trendu promjene metaboličkih parametara u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta iznad anaerobnog praga

Iz drugog cilja istraživanja proizlazi sljedeća hipoteza:

- ❖ **H2.1.** Značajna je razlika u trendu promjene SPO u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta iznad anaerobnog praga

Iz trećeg cilja istraživanja proizlaze sljedeće hipoteze:

- ❖ **H3.1.** Postoji statistički značajna razlika u povezanosti ventilacijskih parametara u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta iznad anaerobnog praga
- ❖ **H3.2.** Postoji statistički značajna razlika u povezanosti metaboličkih parametara u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta iznad anaerobnog praga

Iz četvrtog cilja istraživanja proizlazi sljedeća hipoteza:

- ❖ **H4.1.** Značajno je viša povezanost SPO i ventilacijskih i metaboličkih parametara u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta ispod anaerobnog praga

3. METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Ispitanici

Uzorak ispitanika sačinjavalo je 45 sportaša nacionalnog ranga. Svi su sportaši atletičari trkačkih disciplina, pri čemu su involvirani u trkačke discipline od 100 metara pa do maratona. Svi su ispitanici muškog spola, starosti od 18 do 35 godina. S obzirom na eksplorativni cilj, ispitanici su podijeljeni i u aerobnu i u anaerobnu skupinu. Anaerobnu skupinu čine discipline s dominantnim udjelom anaerobnog energetskeg kapaciteta, i to su sljedeće discipline: 100m, 200m, 400m, 110 prepone i 400m prepone. U aerobnu skupinu uključene su discipline s dominantnim udjelom aerobnog energetskeg kapaciteta, i to su discipline od 1500m pa do maratona.

Svaki ispitanik je potpisao suglasnost kojom potvrđuje da je upoznat sa svrhom i postupkom mjerenja, protokolima mjerenja, mogućim rizicima koji mogu proizaći iz eksperimentalnog postupka te da mjerenju pristupa dobrovoljno. Cjelokupno mjerenje provedeno je u Sportsko-dijagnostičkom centru Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, sukladno etičkim načelima.

3.2. Varijable

Uzorak varijabli dobiven je putem nekoliko različitih postupaka. Dinamički plućni kapaciteti ispitanika izmjereni su postupkom spirometrije. Ventilacijski i metabolički parametri dobiveni su spiroergometrijskim protokolom s progresivnim povećanjem opterećenja do iscrpljenja.

Spiroergometrijski postupak koji je proveden ima takva obilježja koja mu omogućavaju da se primjenjuje na svim zdravim populacijama, neovisno o dobi, spolu, ili vrijednostima energetskeg kapaciteta (Vučetić i Šentija, 2004). Protokol se izvodi u konstantnim mikroklimatskim uvjetima koji podrazumijevaju temperaturu prostorije od 18 – 21°C te vlažnost zraka od 40 – 60%. Instrumentarij za prikupljanje i analizu podataka konstruiran je na takav način da omogućava numeričko i grafičko prikazivanje podataka uz kontinuirano pohranjivanje na računalu za kasniju daljnju analizu. Ventilacijski i metabolički parametri

prikupljanju se putem respiracijske maske za nos i usta (*Hans Rudolph, SAD*) na koju ispitanici dišu.

Osim ventilacijskih i metaboličkih varijabli, potrebe ovog projekta ukazivale su na primjenu varijable konativnog obilježja, koju nazivamo subjektivna percepcija opterećenja (SPO). Subjektivna percepcija opterećenja definirana je kao sposobnost pojedinca za procjenu intenziteta opterećenja, a za potrebe ovog istraživanja koristila se modificirana Borgova skala (Tablica 1). Prije samog testa ispitanici dobivaju u pisanom obliku upute za određivanje subjektivnog osjećaja opterećenja. Sama ljestvica se sastoji od 15 kategorija percepcije opterećenja. Ljestvica se prilikom izvođenja testa nalazi na vidnom mjestu ispred ispitanika, a ispitanik na svakom stupnju opterećenja na verbalni upit mjerioca signalizira rukom kojem broju na ljestvici odgovara njegova percepcija opterećenja.

Varijable koje su bile predmet istraživanja i analize podijeljene su na nekoliko različitih skupina: ventilacijske, metaboličke, mehanicističke i psihološke (konativne).

Ventilacijske varijable:

- a) Plućna ventilacija - VE (L/min)
- b) Frekvencija disanja – FD (b/min)
- c) Dišni volumen (dubina disanja) – DV (L)

Metaboličke varijable:

- a) maksimalni primitak kisika – VO_{2max} (L)
- b) primitak kisika (L) – VO_2
- c) relativni maksimalni primitak kisika – RVO_{2max} ($ml/kg/min$)
- d) relativni primitak kisika – RVO_2 ($ml/kg/min$)
- e) relativni primitak kisika pri anaerobnom pragu – $VO_{2(rel)AnP}$ ($ml/kg/min$)
- f) relativni intenzitet opterećenja *s obzirom na maksimalno izdahnuti ugljični dioksid* – $\%VCO_{2max}$ (%)
- g) izdahnuti ugljični dioksid – VCO_2 (ml/min)
- h) koncentracija kisika u izdahnutom zraku – FeO_2 (%)
- i) koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku – $FeCO_2$ (%)
- j) efikasnost disanja – VE/VCO_2

Mehanicističke varijable:

- a) Brzina trčanja pri anaerobnom pragu – v_{anp} (km/h)
- b) Maksimalna brzina trčanja – v_{max} (km/h)

Psihološke (konativne) varijable:

- a) Subjektivna percepcija opterećenja – SPO (po Borgu)

3.3. Opis postupka mjerenja

Spiroergometrijski postupak mjerenja koji je proveden s ispitanicima na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu naziva se KF1 protokol. Proveden je sljedećim mjernim instrumentarijem:

- a) pokretni sag (Run Race Competition HC1200, Technogym) dužine 190 cm, širine 60 cm, sa mogućnošću preciznog podešavanja brzine od 1 do 25 km/h, sa pomakom od 0.1 km/h
- b) Quark b(Cosmed, Italija) automatizirani, kompjutorizirani sustav koji omogućava kontinuirano ('breath by breath') prikupljanje, grafički prikaz, tiskanje, pohranu i analizu mjerenih ventilacijskih i metaboličkih parametara. Mjerni se sustav sastoji od respiracijske maske za nos i usta (Hans Rudolph, USA), koja je spojena na bidirekcionalnu turbinu s optoelektričnim čitačem protoka zraka. Od turbine uzorak zraka (1 mL/s) odvodi se putem Nafion Permapure® kapilarne cijevi (odstranjuje vlagu ne mijenjajući koncentraciju plinova) do brzih analizatora za kisik (cirkonijski) i CO₂ (infracrveni). Analizatori mjere koncentraciju plinova (O₂ i CO₂), s preciznošću od $\pm 0.03\%$. Nakon analogno-digitalne pretvorbe signala omogućeno je kontinuirano on-line, breath-by-breath praćenje primitka kisika (VO₂, STPD), izdahnutog ugljičnog dioksida (VCO₂, STPD), frekvencije srčanog ritma (FS), minutnog volumena disanja (VE, BTPS), respiracijskog kvocijenta (RQ), koncentracije plinova u izdahnutom zraku (PETCO₂, PETO₂), dišnog volumena (DV), frekvencije disanja (FD), pulsa kisika (PO₂), te dišnih ekvivalenata za kisik (VE/VO₂) i ugljični dioksid (VE/VCO₂). Prije svakog testa aparatura se baždari pomoću 3-litrene pumpe, dok se analizatori baždare sa mješavinom plina poznate koncentracije (16%O₂ i 5,20% CO₂, N₂ rest) (Vučetić, 2007).
- c) telemetrijski sustav za praćenje frekvencije srčanog ritma (Polar Vantage NV, Polar Electro, Finska).

Prije dolaska u laboratorij ispitanici su prema ustaljenim navikama konzumirali lagani obrok 1.5-3 sata prije spiroergometrijskih testova. Također prije samog protokola svim ispitanicima je bio postavljen sustav za telemetrijsko praćenje srčanog ritma, te respiracijska maska za nos i usta. Sam protokol započinje na način da ispitanik miruje 1 minutu i u tom vremenu se prikupljaju svi ventilacijski i metabolički parametri. Nakon toga ispitanik nastavlja hodati brzinom od 3 km/h, pri čemu ispitanik počinje trčati pri brzini od 7 km/h s konstantnim

nagibom saga od 1.5%. Test se naziva KF1 iz razloga što se svake minute brzina pokretnog saga povećava za 1 km/h i tako do iscrpljenja osim ukoliko ne postoje neke zdravstvene indikacije za prekid testa. Maksimalna brzina i završetak testa određeni su zadnjim stupnjem opterećenja kojeg je ispitanik uspio istrčati pola minute. Ispitanik u oporavku nastavlja hodati 5 min pri brzini od 5 km/h, uz daljnje praćenje spiroergometrijskih parametara. Prema Vučetiću (2007) neki ispitanici ne dosegnu maksimalne vrijednosti pri maksimalnom opterećenju, tj. ne pokazuju plato, pa se kod takvih ispitanika za utvrđivanje stvarnih maksimalnih vrijednosti koriste sljedeći kriteriji:

1. porast VO_2 dostiže plateau (porast manje od 2 mL/kg/min ili $< 5\%$) s porastom opterećenja,
2. frekvencija srca unutar je 10 otkucaja/min ili 5% u odnosu na predviđeni maksimum za dob
3. RQ (respiracijski kvocijent) > 1.10 ili > 1.15 ,
4. VE/VO_2 (dišni ekvivalent) > 30 ,
5. koncentracija mliječne kiseline u krvi > 8 mmol/L
6. subjektivni osjećaj iscrpljenja iznosi - 13 bodova po modificiranoj Borgovoj ljestvici

Tijekom kompletnog spiroergometrijskog postupka prikupljali su se podaci o subjektivnoj percepciji opterećenja. Kao što je već ranije navedeno za definiranje subjektivne percepcije opterećenja koristila se modificirana Borgova skala (Tablica 1).

Tablica 1. Prikaz modificirane Borgove skale

ZONA OPTEREĆENJA	SPO - BORG	Modificirani SPO - Borg	Subjektivni osjećaj
Mirovanje	6	00	Vrlo, vrlo lagano
Oporavak	7	0	Vrlo, vrlo lagano
Oporavak	8	1	
Ekstenzivno	9	2	Vrlo lagano
Ekstenzivno	10	3	
Ekstenzivno	11	4	Prilično lagano
Intenzivna	12	5	
Intenzivna	13	6	
Intenzivna	14	7	Ponešto teško
Prag	15	8	
prag	16	9	teško
Anaerobno	17	10	
Anaerobno	18	11	Vrlo teško
Snaga	19	12	
snaga	20	13	Vrlo, vrlo teško

Vučetić (2007)

3.4. Metode prikupljanja i obrade podataka

Radi velike količine, *breath-by-breath* podataka isti se usrednjuju na vremenske intervale od 30 sekundi, pri čemu su maksimalne vrijednosti parametara definirane kao maksimalne vrijednosti u intervalu od 30 sekundi. Anaerobni prag odrediti će se primjenom *V-slope* metode (neproporcionalni porast $\dot{V}CO_2$ u odnosu na $\dot{V}O_2$) prema Walshu i Davies-u (1990) i vizualnom analizom dvojice iskusnih i nezavisnih promatrača. Pragovi određeni od strane obiju procjenjivača su potom uspoređeni; ukoliko su se razlikovali, pragovi su određeni dogovorom između procjenjivača (Vučetić, 2007). Točku aerobnog praga (odnosno intenzitet izražen odgovarajućim primitkom kisika ili brzinom trčanja) određuje sjecište regresijskog pravca ispod aerobnog praga (kod kojeg je regresijski koeficijent manji od 1) i regresijskog pravca iznad tog praga (kod kojeg je regresijski koeficijent veći od 1). Točka drugog neproporcionalnog porasta $\dot{V}CO_2$ u odnosu na $\dot{V}O_2$ predstavlja anaerobni prag. Uz *V-slope* metodu će, po potrebi, dodatno biti evaluiran odnos $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ i $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ (porast $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ bez porasta $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) prema Walshu i Davisu (1990).

Relativni intenzitet opterećenja odrediti će se interpolacijom ventilacijskih i metaboličkih parametara na osnovu postotka od $\dot{V}CO_{2max}$ pri čemu će se odrediti najbliža vrijednost parametara pri 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 87, 89, 91, 93, 95, 97, 99 i 100% $\dot{V}CO_{2max}$ te temeljem tako novo određenih parametara analizirati razlike i relacije. Razlog ovakvog pristupa leži u činjenici da će se na ovakav način ventilacijske i metaboličke parametre te SPO, njihove trendove, relacije i modele moći analizirati za cjelokupni uzorak ispitanika, neovisno o apsolutnim vrijednostima parametara tijekom progresivnog testa opterećenja.

Nakon završenog eksperimentalnog postupka pristupilo se unosu, obradi i analizi dobivenih podataka. Prikupljeni podaci su obrađeni statističkim paketom Statistica 7.0 te Microsoft Excel programskim paketom. Za sve varijable izračunali su se deskriptivni parametri: aritmetička sredina (AS), standardna devijacija (SD), minimalna vrijednost (MIN) i maksimalna vrijednost (MAX), dok je normalnost distribucije varijabli testirana Kolmogorov-Smirnovljevim testom. Razina značajnosti je postavljena na $p < 0.05$.

Trend kretanja parametara s obzirom na zone opterećenja analizirao se jednostavnom regresijskom analizom. Za sve parametre izračunao se nagib pravca (b_1 regresijski koeficijent) posebno u zoni opterećenja ispod anaerobnog praga i posebno u zoni opterećenja iznad anaerobnog praga. Nakon utvrđivanja b_1 regresijskih koeficijenata, značajnost razlika u trendu promjene parametara u zonama opterećenja analizirala se T-testom za zavisne uzorke. Nadalje, povezanost metaboličkih i ventilacijskih parametara te SPO utvrditi će se Pearsonovim

koeficijentom korelacije. Značajnost razlika korelacija ventilacijskih i metaboličkih parametara te SPO u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta iznad anaerobnog praga utvrditi će se T-testom za zavisne uzorke na način da će se prvo izračunati koeficijent korelacije za svaki intenzitet opterećenja između dva parametra te će se onda tako dobiveni koeficijenti korelacije uspoređivati T-testom za zavisne uzorke za svaku zonu opterećenja. Kod eksplorativnog cilja koji je usmjeren na analizu razlika ventilacijskih i metaboličkih parametara te SPO kod atletičara/trkača s dominantnim udjelom aerobnog te anaerobnog metabolizma koristio se T-test za zavisne uzorke.

.

4. REZULTATI

4.1. Deskriptivna analiza

U tablici 2 prikazani su deskriptivni parametri ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja (SPO) s obzirom na zone intenziteta

Tablica 2. Tablični prikaz deskriptivne statistike ventilacijskih i metaboličkih varijabli i SPO

	Broj slučajeva	Aritmetička sredina	Standardna devijacija	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis
VO ₂ -AE (L)	12	3341,120	346,462	2789,829	3805,939	-0,184	-1,256
VO ₂ /Kg-AE (ml/min/kg)	12	46,595	4,7	39,004	53,139	-0,246	-1,23
FeCO ₂ -AE (%)	12	5,082	0,147	4,794	5,298	-0,405	-0,331
FeO ₂ -AE (%)	12	15,633	0,275	15,193	16,106	0,041	-0,821
SPO-AE	12	4,718	1,377	2,707	7,1	0,122	-0,962
VE/VCO ₂ -AE	12	25,007	0,818	23,884	26,771	0,731	0,426
VE-AE (l/min)	12	84,273	13,689	63,683	106,155	0,056	-1,165
DV-AE (L)	12	2,268	0,151	2,088	2,565	0,704	-0,243
FD-AE (b/min)	12	37,983	3,71	31,693	42,590	-0,339	-1,239
VCO ₂ -AE (ml/min)	12	3257,189	437,664	2572,607	3869,539	-0,117	-1,279
VO ₂ -AN (L)	11	4131,263	203,287	3806,795	4382,485	-0,257	-1,275
VO ₂ /Kg-AN (ml/min/kg)	11	57,905	2,749	54,103	61,302	-0,162	-1,565
FeCO ₂ -AN (%)	11	4,634	0,208	4,311	4,893	-0,187	-1,453
FeO ₂ -AN (%)	11	16,467	0,334	16,032	16,991	0,140	-1,406
SPO-AN	11	8,826	1,859	6,404	12,185	0,439	-0,777
VE/VCO ₂ -AN	11	27,648	1,401	25,922	29,935	0,286	-1,295
VE-AN (l/min)	11	128,475	18,303	104,321	157,534	0,194	-1,345
DV-AN (L)	11	2,5489	0,107	2,348	2,664	-0,738	-0,482
FD-AN (b/min)	11	50,874	5,266	44,845	60,197	0,446	-1,041
VCO ₂ -AN (ml/min)	11	4503,609	420,802	3891,734	5146,891	0,087	-1,279

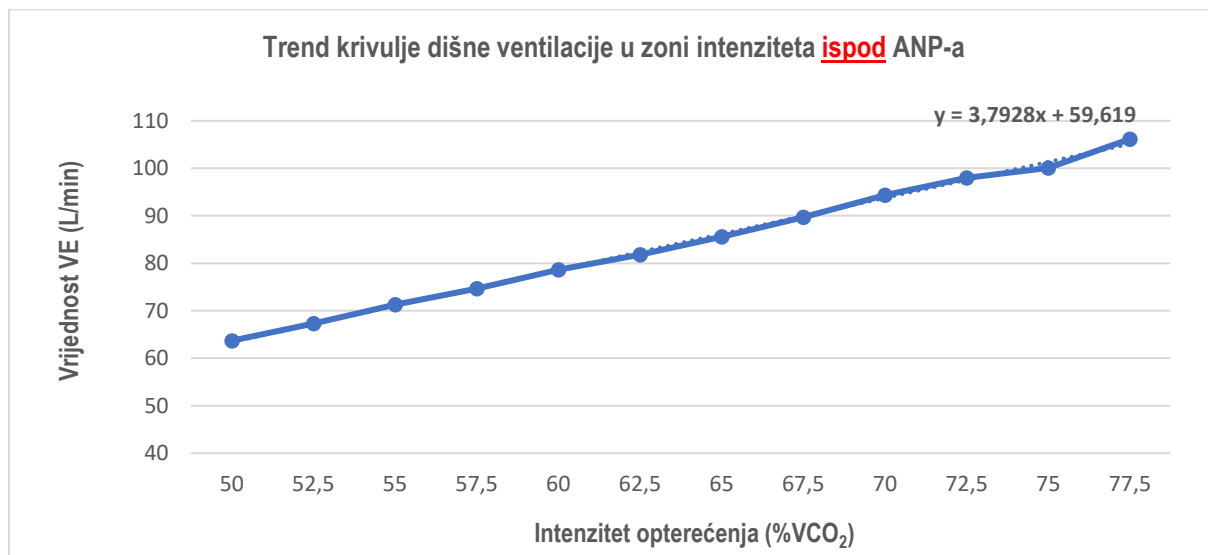
VO₂-AE – primitak kisika (apsolutni) (zona ispod anaerobnog praga); VO₂/Kg-AE - primitak kisika (relativni) (zona ispod anaerobnog praga); FeCO₂-AE – koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku (zona ispod aerobnog praga); FeO₂-AE – koncentracija kisika u izdahnutom zraku (zona ispod aerobnog praga); SPO-AE – subjektivna percepcija opterećenja (zona ispod anaerobnog praga); VE/VCO₂-AE – efikasnost disanja (zona ispod anaerobnog praga) ; VE-AE – dišna ventilacija (zona ispod anaerobnog praga); DV-

AE – dišni volumen (zona ispod anaerobnog praga); FD-AE – frekvencija disanja (zona ispod anaerobnog praga); VCO_2 -AE – izdahnuti ugljični dioksid (zona ispod anaerobnog praga); VO_2 -AN – primitak kisika (apsolutni) (zona iznad anaerobnog praga); VO_2/Kg -AN – primitak kisika (relativni) (zona iznad anaerobnog praga); FeCO_2 -AN – koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku (zona iznad aerobnog prag); FeO_2 -AN – koncentracija kisika u izdahnutom zraku (zona iznad aerobnog prag); SPO-AN – subjektivna percepcija opterećenja (zona iznad anaerobnog praga); VE/VCO_2 -AN – efikasnost disanja (zona iznad anaerobnog praga); VE-AN – dišna ventilacija (zona iznad anaerobnog praga); DV-AN – dišni volumen (zona iznad anaerobnog praga); FD-AN – frekvencija disanja (zona iznad anaerobnog praga); VCO_2 -AN – izdahnuti ugljični dioksid (zona iznad anaerobnog praga);

Analizom deskriptivnih pokazatelja i rezultata K-S testa na uzorku atletičara svih trkačkih disciplina s obzirom na zonu intenziteta ispod/iznad ANP-a ustanovljeno je da je većina rezultata u varijablama za procjenu ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja normalno distribuirana uz grešku zaključivanja od $p < 0.05$ te se može zaključiti da oblik distribucije neće značajnije utjecati na analizu rezultata ovog skupa varijabli.

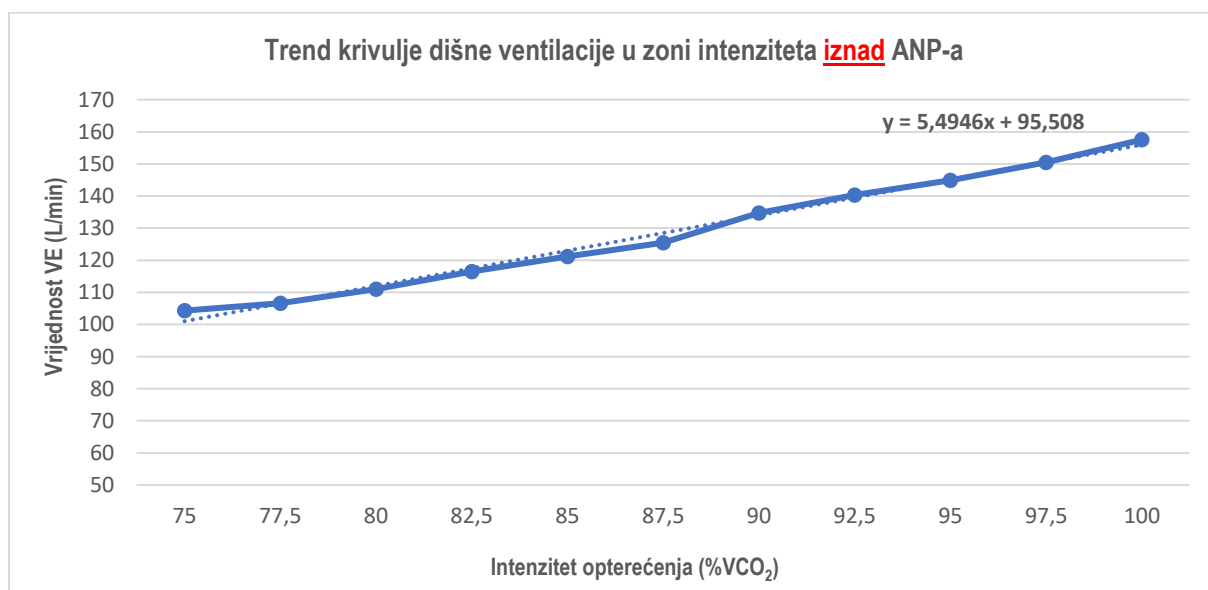
4.2. Tablični i grafički prikazi analize ventilacijskih i metaboličkih parametara

Grafikon 1. Grafički prikaz kretanja dišne ventilacije (VE) u zoni intenziteta ispod ANP-a



VE(L/min)-dišna ventilacija; %VCO₂(%)-intenzitet opterećenja s obzirom na VCO_{2max}

Grafikon 2. Grafički prikaz kretanja dišne ventilacije (VE) u zoni intenziteta iznad ANP-a



VE(L/min)-dišna ventilacija; %VCO₂(%)-intenzitet opterećenja s obzirom na VCO_{2max}

Tablica 3. *Tablični prikaz regresijskih koeficijenata ventilacijskih parametara*

R.b.	b1-FD (ae)	b1-FD (an)	b1-DV (ae)	b1-DV (an)	b1-VE (ae)	b1-VE (anae)
1.	1,093	1,449	0,0318	0,043	3,555	5,827
2.	2,984	1,644	-0,025	0,033	4,797	5,539
3.	-0,511	1,594	0,113	0,048	2,611	6,360
4.	2,288	2,089	0,007	0,012	4,797	5,236
5.	2,540	0,499	-0,072	0,045	3,710	2,959
6.	0,869	2,717	0,042	0,021	3,388	8,228
7.	1,597	1,291	0,017	0,050	3,999	5,710
8.	1,971	1,038	-0,025	0,030	4,316	4,244
9.	1,714	0,201	0,033	0,054	4,994	3,842
10.	0,477	2,644	0,055	-0,006	3,256	5,464
11.	1,295	0,820	0,050	0,053	4,894	5,339
12.	0,138	2,024	0,087	0,029	4,005	7,366
13.	1,537	1,604	-0,012	0,032	3,614	5,654
14.	0,358	2,631	0,050	0,021	2,446	7,281
15.	1,124	1,024	0,017	0,034	3,309	4,101
16.	1,139	2,564	0,029	0,002	3,186	5,345
17.	1,759	2,352	0,018	0,017	4,240	6,151
18.	1,104	1,501	0,036	0,043	4,218	6,642
19.	1,273	1,626	0,029	0,028	3,790	5,608
20.	0,756	1,872	0,042	-0,006	3,402	4,990
21.	1,308	1,145	0,017	0,024	4,040	4,566
22.	1,308	0,864	0,036	0,053	4,280	5,180
23.	1,163	2,191	0,048	0,015	4,491	6,091

b1-FD (ae) – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-FD (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-DV (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-DV (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-VE (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-VE (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije u zoni intenziteta iznad ANP-a

R.b.	b1-FD (ae)	b1-FD (an)	b1-VT (ae)	b1-VT (an)	b1-VE (ae)	b1-VE (an)
24.	0,328	2,220	0,042	0,008	2,323	5,789
25.	0,743	1,186	0,061	0,050	3,934	6,001
26.	0,688	3,314	0,021	-0,061	2,712	7,792
27.	0,709	1,864	0,058	0,028	3,930	6,312
28.	0,948	1,941	0,005	-0,027	3,132	4,271
29.	1,313	3,980	0,041	0,010	4,409	10,625
30.	1,001	2,709	0,058	0,036	4,744	9,927
31.	1,527	1,786	0,015	0,034	3,629	5,896
32.	-0,169	0,527	0,071	0,051	3,047	4,160
33.	1,289	0,472	0,039	0,047	4,325	3,678
34.	1,705	1,196	0,035	0,040	4,971	5,100
35.	0,928	0,939	0,036	0,022	3,432	3,270
36.	0,857	1,121	0,041	0,036	3,532	4,424
37.	0,627	1,588	0,045	0,030	2,903	5,839
38.	0,883	1,367	0,046	0,018	3,879	4,629
39.	1,344	1,606	0,025	0,043	3,553	6,080
40.	0,209	1,909	0,062	0,033	2,924	6,513
41.	1,144	1,719	0,014	0,026	2,941	5,196
42.	0,978	1,935	0,056	0,015	4,627	6,609
43.	1,074	2,046	0,030	0,015	3,169	5,383
44.	0,925	1,623	0,054	0,052	3,924	6,786
45.	1,146	0,534	0,019	0,057	3,728	3,841
46.	1,174	1,475	0,037	0,029	3,815	4,922

b1-FD (ae) – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-FD (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-DV (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-DV (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-VE (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-VE (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije u zoni intenziteta iznad ANP-a

Tablica 4. Prikaz značajnosti razlike dišne ventilacije s obzirom na zonu intenziteta

Značajnost razlike nagiba pravca (b1 regresijskih koeficijenata) VE s obzirom na zonu intenziteta ispod/iznad ANP-a								
	AS	SD.	N	Diff.	SD - Diff.	t	df	p
b1-VE (ae)	3,759	0,693						
b1-VE (an)	5,669	1,516	46	-1,909	1,651	-7,846	45	<0,001

b1-VE (ae) – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-VE (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije u zoni intenziteta iznad ANP-a

Grafički prikazi 1 i 2 prikazuju trend kretanja krivulje dišne ventilacije u dvije zone intenziteta. Također je vidljivo da kod intenziteta od 87,5% (Grafikon 2) dolazi do „loma“ linearnosti, odnosno točke defleksije, nakon koje slijedi novi, strmiji tijek krivulje. Vidljiv je linearni rast nagiba krivulje, s time da je s obzirom na regresijski koeficijent b_1 nagib krivulje strmiji u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta ispod. Veličina razlike regresijskog koeficijenta iznosi nešto malo manje od dvije jedinične vrijednosti, preciznije za 1.91 je veći taj regresijski koeficijent u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga. Nadalje, tablica 4 prikazuje da je uočena razlika između regresijskih koeficijenata s obzirom na zonu intenziteta statistički značajna, te da sa 95% vjerojatnošću možemo tvrditi da ta razlika uistinu postoji.

Tablica 5. *Prikaz značajnosti razlike dišnog volumena (DV) s obzirom na zonu intenziteta*

Značajnost razlike nagiba pravca (b_1 regresijskih koeficijenata) dišnog volumena (DV) s obzirom na zonu intenziteta ispod/iznad ANP-a								
	AS	SD.	N	Diff.	SD - Diff.	t	df	P
b1-DV (ae)	0,033	0,029						
b1-DV (an)	0,028	0,023	46	0,005	0,036	1,107	45	0,274

b1-DV (ae) – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-DV (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena

Tabličnim prikazom 5 vidljivo je da postoji mala razlika u trendu kretanja dišnog volumena s obzirom na zone intenziteta. Nagib pravca u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga je nešto strmiji u odnosu na nagib pravca u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga što sugerira i prosječno viša vrijednost regresijskog koeficijenta (0,033 u zoni intenziteta ispod ANP-a u odnosu na 0,028 u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga). No bez obzira što postoje neznatne razlike u nagibu pravca, potrebno je napomenuti da uočena razlika nije statistički značajna.

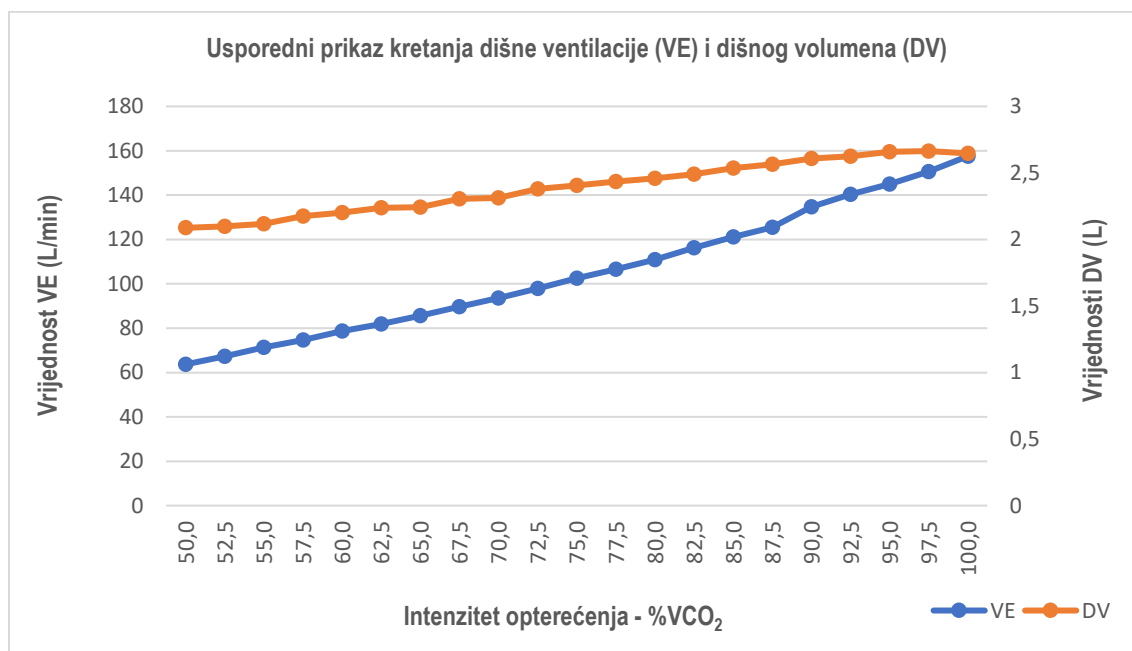
Tablica 6. Prikaz značajnosti razlike frekvencije disanja (FD) s obzirom na zonu intenziteta

Značajnost razlike nagiba pravca (b1 regresijskih koeficijenata) FD s obzirom na zonu intenziteta ispod/iznad ANP-a								
	AS	SD.	N	Diff.	SD - Diff.	t	df	P
b1-FD (ae)	1,101	0,639						
b1-FD (an)	1,662	0,765	46	-0,561	1,089	-3,488	45	0,001

b1-FD (ae) – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-FD (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta iznad ANP-a

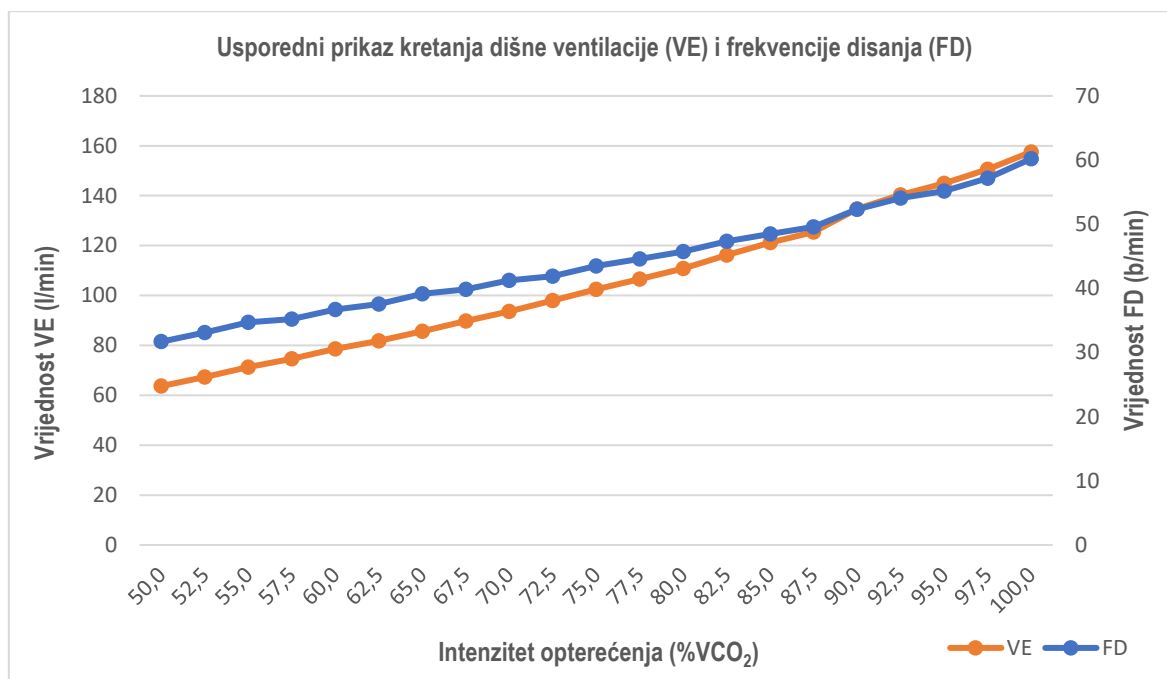
Tablični prikaz 6 ukazuje na različitost regresijskih koeficijenata frekvencije disanja s obzirom na zonu intenziteta. Regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a iznosi 1.101 dok u zoni intenziteta iznad ANP-a iznosi 1.662. Uočena razlika je 0,561 jedinica, pri čemu je veći nagib pravca u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga. Maloprije spomenuta razlika čini statistički značajnu razliku u nagibu pravca kada su oni uspoređivani s obzirom na anaerobni prag.

Grafikon 6. Usporedni prikaz kretanja dišne ventilacije (VE) i dišnog volumena (DV)



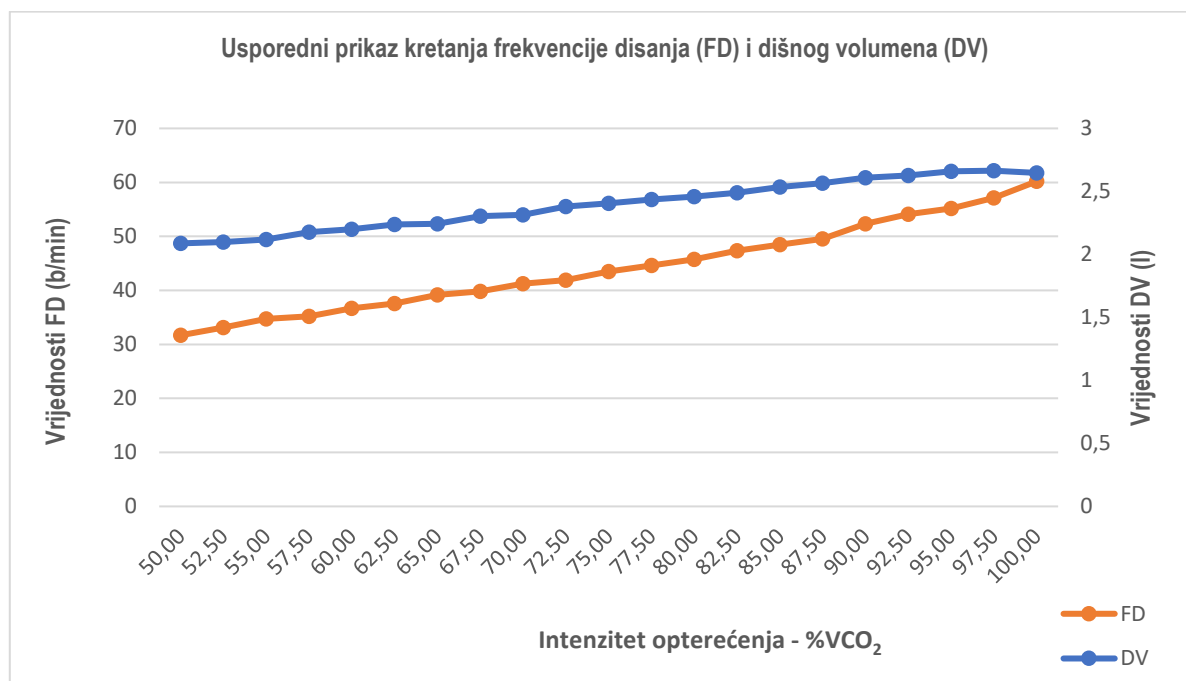
VE(L/min)-dišna ventilacija; DV (L)-dišni volumen; %VCO₂(%)-intenzitet opterećenja s obzirom na VCO_{2max}

Grafikon 7. Usporedni prikaz kretanja dišne ventilacije (VE) i frekvencije disanja (FD)



VE(L/min)-dišna ventilacija; FD (b/min)-frekvencija disanja; %VCO₂(%)-intenzitet opterećenja s obzirom na VCO_{2max}

Grafikon 8. Usporedni prikaz kretanja dišnog volumena (DV) i frekvencije disanja (FD)



FD (b/min)-frekvencija disanja; DV (L)-dišni volumen; %VCO₂(%)-intenzitet opterećenja s obzirom na VCO_{2max}

Grafički prikazi 6, 7 i 8 pokazuju usporedne prikaze ventilacijskih parametara. Vizualno je vidljivo da postoji poklapanje krivulja dišne ventilacije i frekvencije disanja cijelim trajanjem testa. Moguće je vidjeti da postoji određena točka defleksije kod oba parametra i to kod iste vrijednosti intenziteta (Grafikon 7). Isto tako, vidljivo je da dišna ventilacije ima strmiji trend kretanja u odnosu na dišni volumen. Nadalje, uočljivo je da se kod intenziteta od 87,5% pa do kraja testa događa različiti trend kretanja frekvencije disanja i dišnog volumena. Kod frekvencije disanja događa se daljnji kontinuirani rast do kraja testa, dok kod dišnog volumena nema taj fenomen, već dolazi do platoiziranja vrijednosti dišnog volumena do kraja testa.

Tablica 7. Povezanost nagiba ventilacijskih parametara neovisno o zoni intenziteta

Povezanost nagiba ventilacijskih parametara (b1) neovisno o zoni intenziteta					
	AS	SD	b1 -VE-ukupno	b1-DV-ukupno	b1-FD-ukupno
b1 -VE-ukupno	4,617	0,731	1,000	0,337	0,526
			p= ---	p=0,022	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%			---	-0,098 – 0,6541	0,129 – 0,767
b1-DV-ukupno	0,032	0,015	0,337	1,000	-0,527
			p=0,022	p= ---	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%			-0,098 – 0,6541	---	-0,767 – -0,131
b1-FD-ukupno	1,327	0,350	0,526	-0,527	1,0000
			p<0,001	p<0,001	p= ---
Interval pouzdanosti - 95%			0,129 – 0,767	-0,767 – -0,131	---

b1-VE(ukupno) – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije neovisno o zoni intenziteta; **b1-DV(ukupno)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena neovisno o zoni intenziteta; **b1-FD(ukupno)** – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja neovisno o zoni intenziteta

Tablica 8. Povezanost nagiba ventilacijskih parametara u zoni intenziteta ispod ANP-a (A) i u zoni intenziteta iznad ANP-a (B)

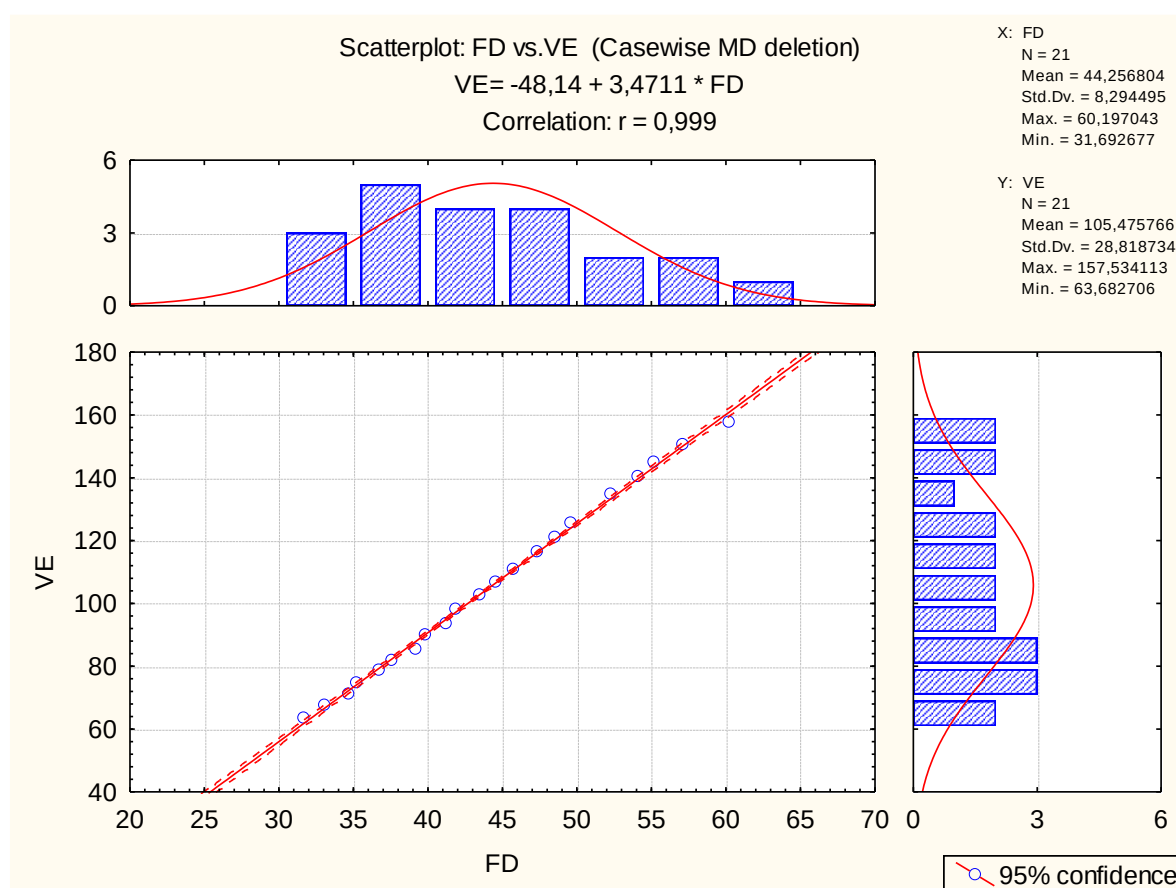
Povezanost nagiba krivulja ventilacijskih parametara u zoni intenziteta <u>ispod</u> ANP-a (A segment)					
	AS	SD	b1-FD (aero)	b1-DV (aero)	b1-VE (aero)
b1-FD (ae)	1,101	0,639	1,000	-0,826	0,627
			p= ---	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%			---	-0,943 – -0,461	0,076 – 0,869
b1-DV (ae)	0,033	0,029	-0,826	1,000	-0,164
			p<0,001	p= ---	p=0,275
Interval pouzdanosti - 95%			-0,943 – -0,461	----	-0,653 – 0,435
b1-VE (ae)	3,759	0,693	0,627	-0,164	1,000
			p<0,001	p=0,275	p= ---
Interval pouzdanosti - 95%			0,076 – 0,869	-0,653 – 0,435	---
Povezanost nagiba krivulja ventilacijskih parametara u zoni intenziteta <u>iznad</u> ANP-a (B segment)					
	AS	SD	b1-FD (anae)	b1-DV (anae)	b1-VE (anae)
b1-FD (an)	1,662	0,765	1,000	-0,681	0,804
			p= ---	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%			---	-0,897 – -0,127	0,375 – 0,939
b1-DV (an)	0,028	0,023	-0,681	1,000	-0,217
			p<0,001	p= ---	p=0,147
Interval pouzdanosti - 95%			-0,897 – -0,127	---	-0,699 – 0,421
b1-VE (an)	5,669	1,516	0,804	-0,217	1,0000
			p<0,001	p=0,147	p= ---
Interval pouzdanosti - 95%			0,375 – 0,939	-0,699 – 0,421	---

b1-FD (ae) – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-FD (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-DV (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-DV (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-VE (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-VE (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije u zoni intenziteta iznad ANP-a

Tablice 7 prikazuje povezanost nagiba krivulje trenda ventilacijskih parametara neovisno o zoni intenziteta (generalno), dok Tablica 8 prikazuje istu povezanost ali s obzirom na zonu intenziteta. Crvenom bojom su istaknuti koeficijenti korelacija koji pokazuju statistički značajnu povezanost. U Tablici 8 je prikazana povezanost ventilacijskih parametara u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga (A segment) i u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga (B segment). U zoni intenziteta ispod ANP-a (A segment) frekvencija disanja je značajno povezana i sa dišnim volumenom ($r = -0,826$) i sa dišnom ventilacijom ($r = 0,627$). Povezanost sa dišnim volumenom je negativna što ukazuje da u zoni intenziteta ispod ANP-a strmiji nagib pravca dišnog volumena znači manje strmi nagib pravca frekvencije disanja i obrnuto. Istu vrstu povezanosti moguće je vidjeti i u zoni intenziteta

iznad ANP-a (*B segment*). Jedina razlika u odnosu na ranije spomenutu povezanost je da pada povezanost sa DV ($r = -0,681$) odnosno raste povezanost sa dišnom ventilacijom ($r = 0,804$). Kada je riječ o povezanosti nagiba krivulje dišnog volumena i dišne ventilacije, rezultati ukazuju na malo drugačije odnose. Naime, nagibi krivulja dišnog volumena i dišne ventilacije značajno su i negativno povezani u obje zone intenziteta, s time da je potrebno naglasiti da je ta povezanost izrazito mala neovisno radi li se o zoni intenziteta ispod anaerobnog praga ($r = -0,164$, *A segment*) ilil zoni intenziteta iznad anaerobnog praga ($r = -0,217$, *B segment*). Samim time, rezultati ukazuju da je varijancom FD moguće objasniti samo 2,7% varijance nagiba frekvencije disanja u zoni intenziteta prije ANP-a, dok je u zoni intenziteta iznad ANP-a nagibom frekvencije disanja moguće objasniti 4,7% varijance nagiba dišne ventilacije..

Grafikon 9. Grafički prikaz povezanosti dišne ventilacije (VE) i frekvencije disanja (FD)

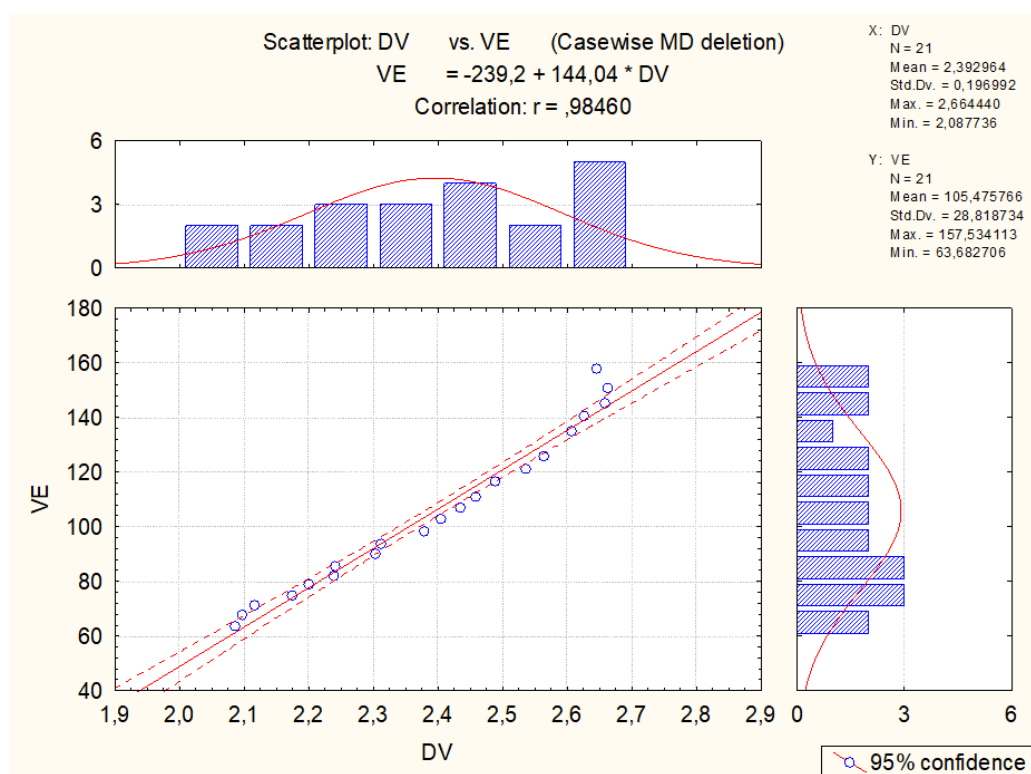


VE (L/min) – dišna ventilacija; FD (b/min) – frekvencija disanja

N – broj intenziteta opterećenja

Interval pouzdanosti: 0,997 – 0,999

Grafikon 10. Grafički prikaz povezanosti dišne ventilacije (VE) i dišnog volumena (DV)



VE (L/min) – dišna ventilacija; **DV (L)** – dišni volumen

N – broj intenziteta opterećenja

Interval pouzdanosti: 0,961 – 0,994

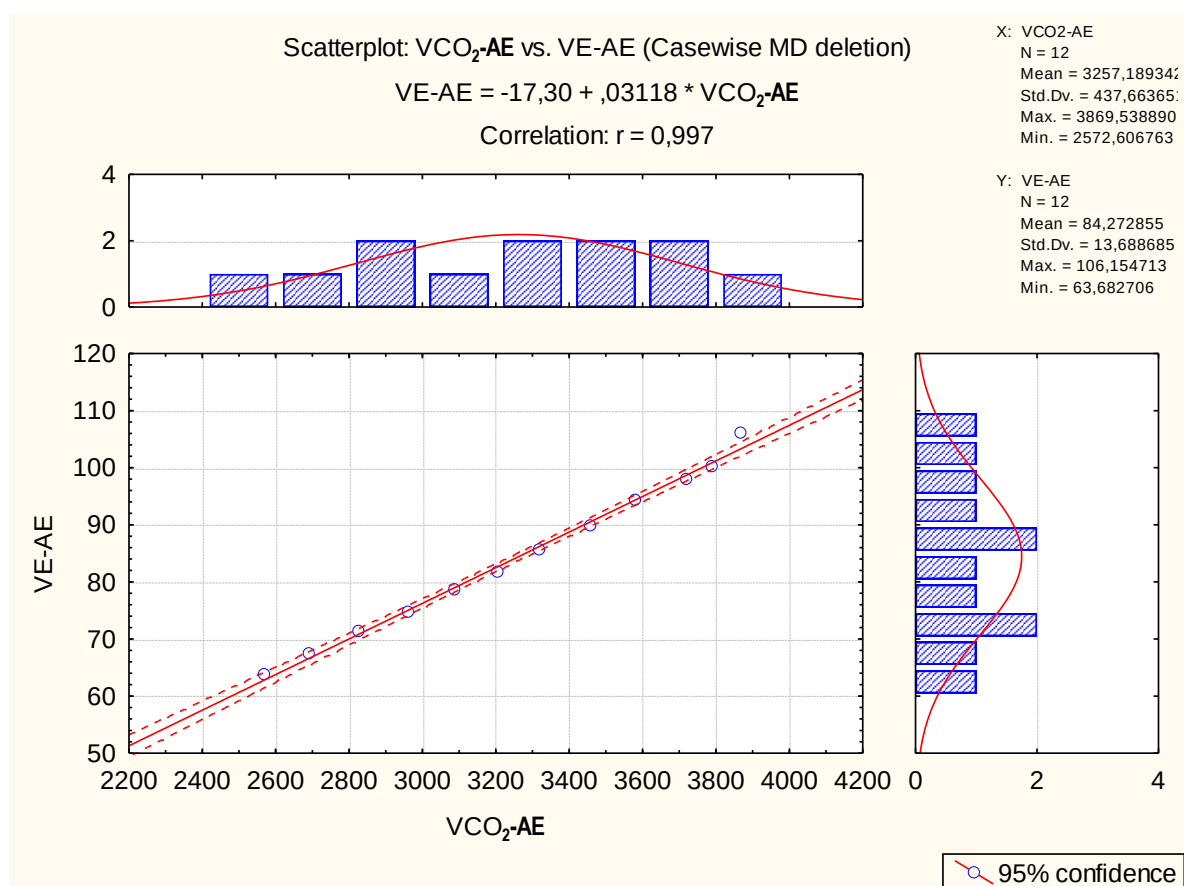
Tablica 9. Tablični prikaz povezanosti ventilacijskih parametara s obzirom na zone intenziteta

Povezanost ventilacijskih parametara u zoni intenziteta <i>ispod ANP-a (C segment)</i>			
	VE-AE	DV-AE	FD-AE
VE-AE	1,000	0,972	0,986
	p= ---	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%	---	0,893 – 0,991	0,945 – 0,996
DV-AE	0,972	1,000	0,921
	p<0,001	p= ---	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%	0,893 – 0,991	---	0,7203 – 0,9748
FD-AE	0,986	0,921	1,000
	p<0,001	p<0,001	p= ---
Interval pouzdanosti - 95%	0,945 – 0,996	0,7203 – 0,9748	---
Povezanost ventilacijskih parametara u zoni intenziteta <i>iznad ANP-a (D segment)</i>			
	VE-AN	DV-AN	FD-AN
VE-AN	1,0000	0,937	0,994
	p= ---	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%	---	0,754 – 0,981	0,974 – 0,999
DV-AN	0,937	1,000	0,895
	p<0,001	p= ---	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%	0,754 – 0,981	---	0,617 – 0,968
FD-AN	0,4	0,895	1,000
	p<0,001	p<0,001	p= ---
Interval pouzdanosti - 95%	0,974 – 0,999	0,617 – 0,968	---

VE-AE (L/min) – dišna ventilacija u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; DV-AE (L) – dišni volumen u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; FD-AE(b/min) – frekvencija disanja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; VE-AN (L/min) – dišna ventilacija u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; DV-AN (L) – dišni u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; FD-AN (b/min) – frekvencija disanja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga

Tablica 9 prikazuje povezanost ventilacijskih parametara s obzirom na zone intenziteta. Crvenom bojom su prikazani statistički značajni koeficijenti korelacija. Povezanost dišne ventilacije i dišnog volumena u zoni intenziteta ispod ANP-a (*C segment*) iznosi $r=0,973$, dok je u istoj zoni povezanost dišne ventilacije sa frekvencijom disanja $r=0,986$. Isto tako, u istoj zoni, dišni volumen i frekvencija disanja imaju povezanost od $r=0,921$. Kada je riječ o zoni intenziteta iznad ANP-a (*D segment*) povezanost dišne ventilacije i dišnog volumena iznosi $r=0,937$, dok je povezanost dišne ventilacije i frekvencije disanja $r=0,944$). Povezanost dišnog volumena i frekvencije disanja u istoj zoni iznosi $r=0,895$.

Grafikon 11. Povezanost dišne ventilacije (VE) i izdahnute količine ugljičnog dioksida (VCO₂) u zoni intenziteta ispod ANP-a

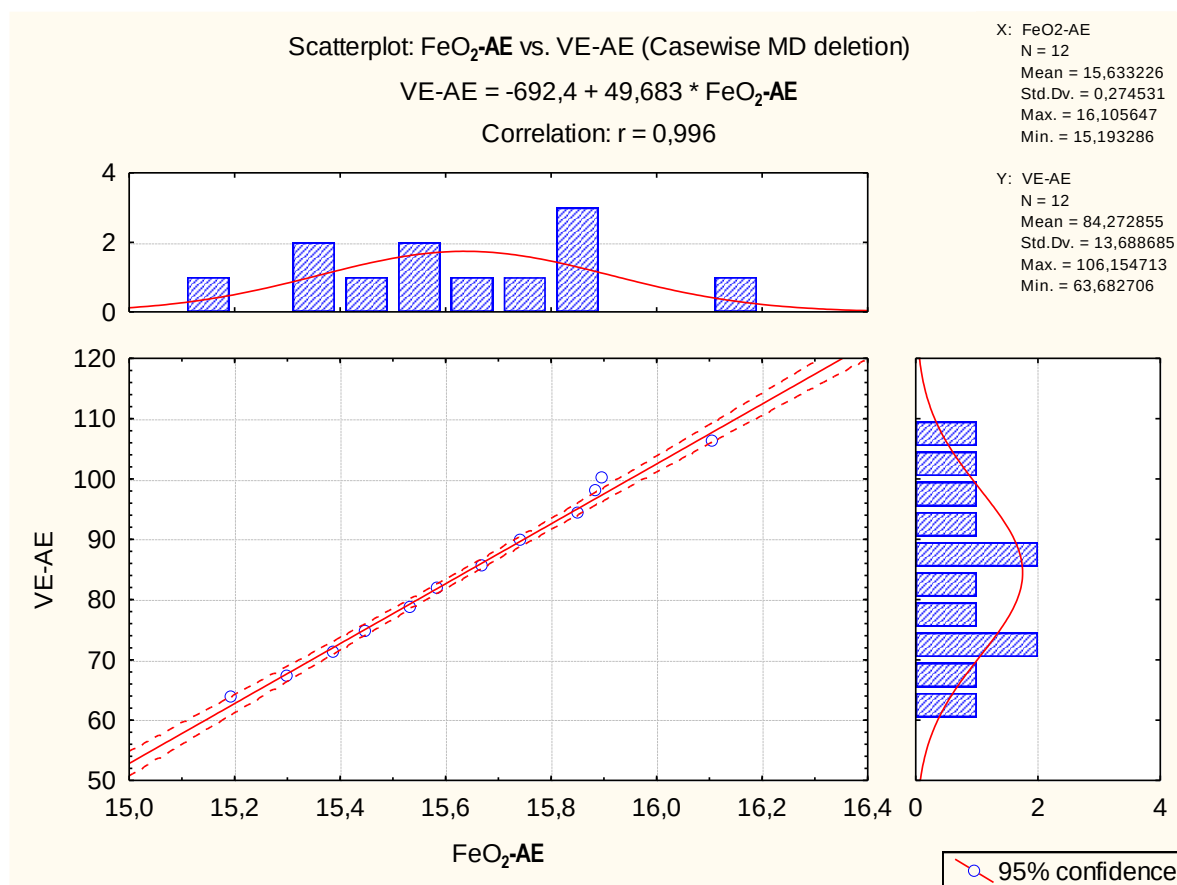


VE-AE (L/min) – dišna ventilacija u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **VCO₂-AE (ml/min)**– izdahnuti ugljični dioksid u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga

N – broj intenziteta u zoni ispod ANP-a

Interval pouzdanosti: -0,999 – -0,988

Grafikon 12. Povezanost dišne ventilacije (VE) i koncentracije O₂ u izdahnutom zraku (FeO₂) u zoni intenziteta ispod ANP-a

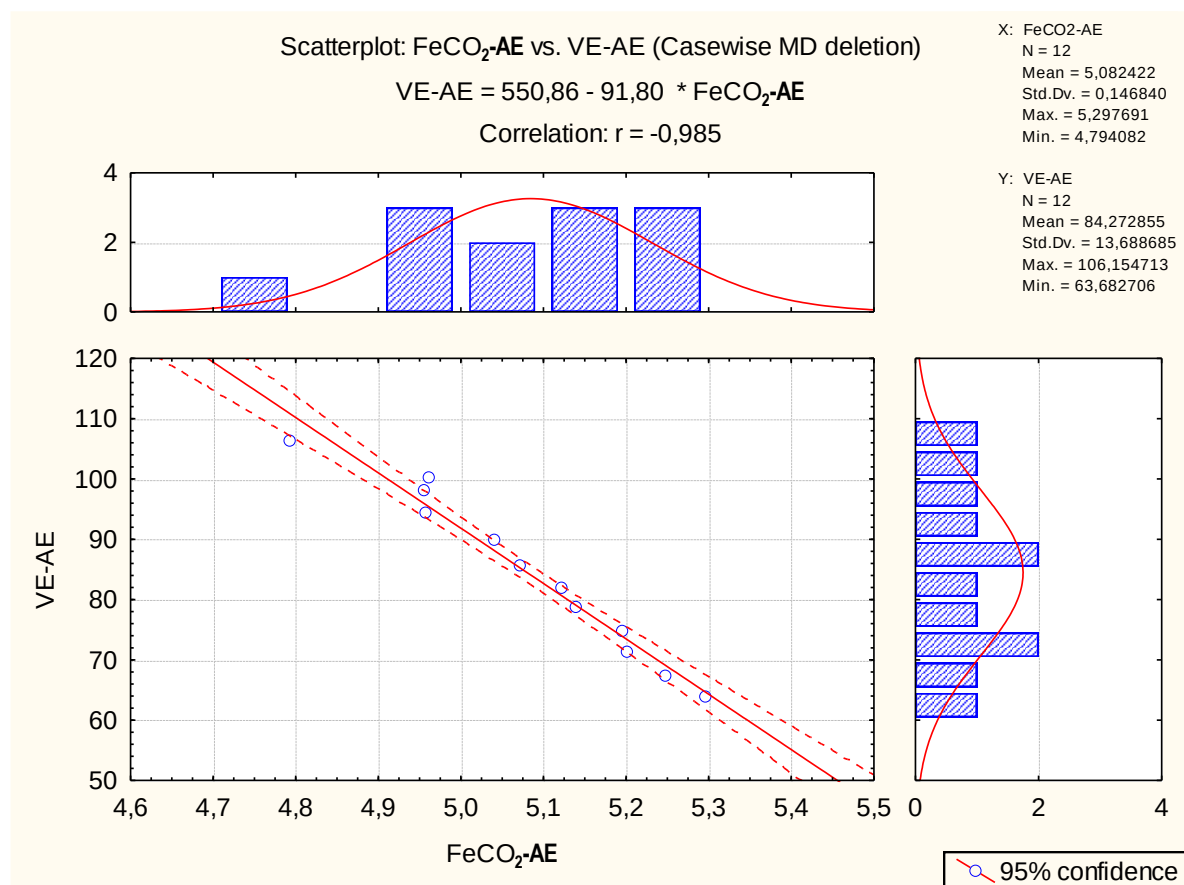


VE-AE (L/min) – dišna ventilacija u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **FeO₂-AE (%)** - koncentracija kisika u izdahnutom zraku u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga

N – broj intenziteta opterećenja

Interval pouzdanosti: -0,999 – -0,986

Grafikon 13. Povezanost dišne ventilacije (VE) i koncentracije CO₂ u izdahnutom zraku (FeCO₂) u zoni intenziteta ispod ANP-a



VE-AE (L/min) – dišna ventilacija u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **FeCO₂-AE (%)** - koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga

N – broj intenziteta opterećenja

Interval pouzdanosti: -0,995 – -0,940

Grafički prikazi 11, 12 i 13 prikazuju povezanost dišne ventilacije sa metaboličkim parametrima (VCO₂, FeO₂ i FeCO₂) u zoni intenziteta ispod ANP-a. Povezanost dišne ventilacije sa izdahnutom količinom ugljičnog dioksida (Grafikon 11) iznosi r=0,997, sa koncentracijom ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku (Grafikon 13) iznosi r=-0,9848, dok je povezanost sa koncentracijom kisika u izdahnutom zraku (Grafikon 12) r=0,996. U sva tri slučaja utvrđeno je da je ta povezanost statistički značajna.

Tablica 10. Povezanost dišne ventilacije i metaboličkih parametara u zoni intenziteta iznad ANP-a

Povezanost dišne ventilacije i metaboličkih parametara u zoni intenziteta iznad ANP-a				
	FeCO ₂ -AN	FeO ₂ -AN	VE-AN	VCO ₂ -AN
FeCO ₂ -AN	1,0000	-0,999	-0,998	-0,993
	p= ---	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%	---	-0,999 – -0,996	-0,999 – -0,991	-0,998 – -0,969
FeO ₂ -AN	-0,999	1,0000	0,999	0,996
	p<0,001	p= ---	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%	-0,999 – -0,996	---	0,996 – 0,999	-0,999 – -0,983
VE-AN	-0,998	0,999	1,0000	0,997
	p<0,001	p<0,001	p= ---	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%	-0,999 – -0,991	0,996 – 0,999	---	0,987 – 0,999
VCO ₂ -AN	-0,993	0,996	0,997	1,0000
	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p= ---
Interval pouzdanosti - 95%	-0,998 – -0,969	-0,999 – -0,983	0,987 – 0,999	---

FeCO₂-AN (%) – koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku u zoni intenziteta iznad aerobnog praga; FeO₂-AN (%) – koncentracija kisika u izdahnutom zraku u zoni intenziteta iznad aerobnog praga; VE-AN (L/min) – dišna ventilacija u zoni intenziteta iznad aerobnog praga; VCO₂-AN (ml/min) – izdahnuti ugljični dioksid u zoni intenziteta iznad aerobnog praga

Povezanost dišne ventilacije i metaboličkih parametara u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga pokazuje izrazito visoku (skoro pa maksimalnu) korelaciju. Koeficijent korelacije dišne ventilacije i količine izdahnutog CO₂ iznosi r=-0,993, zatim koeficijent dišne ventilacije i koncentracije ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku iznosi r=-0,998 dok je koeficijent korelacije dišne ventilacije i koncentracije kisika u izdahnutom zraku r=0,999. Također, svaka navedena korelacija je i statistički značajna. Kada se usporedno analiziraju koeficijenti korelacija u obje zone intenziteta vidljivo je da nema razlike odnosno da je ta razlika na drugom ili trećem mjestu iza decimalne točke.

Tablica 11. Tablični prikaz povezanosti frekvencije disanja (FD) i dišnog volumena (DV) sa metaboličkim parametrima (FeCO₂, FeO₂ i VCO₂) u zoni intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga (ANP-a)

Povezanost dišnog volumena i frekvencije disanja sa metaboličkim parametrima u zoni intenziteta ispod ANP-a			
NAZIV VARIJABLE	FeCO ₂ -AE	FeO ₂ -AE	VCO ₂ -AE
DV-AE	-0,964	0,965	0,959
	p<0,001	p<0,001	p<0,001

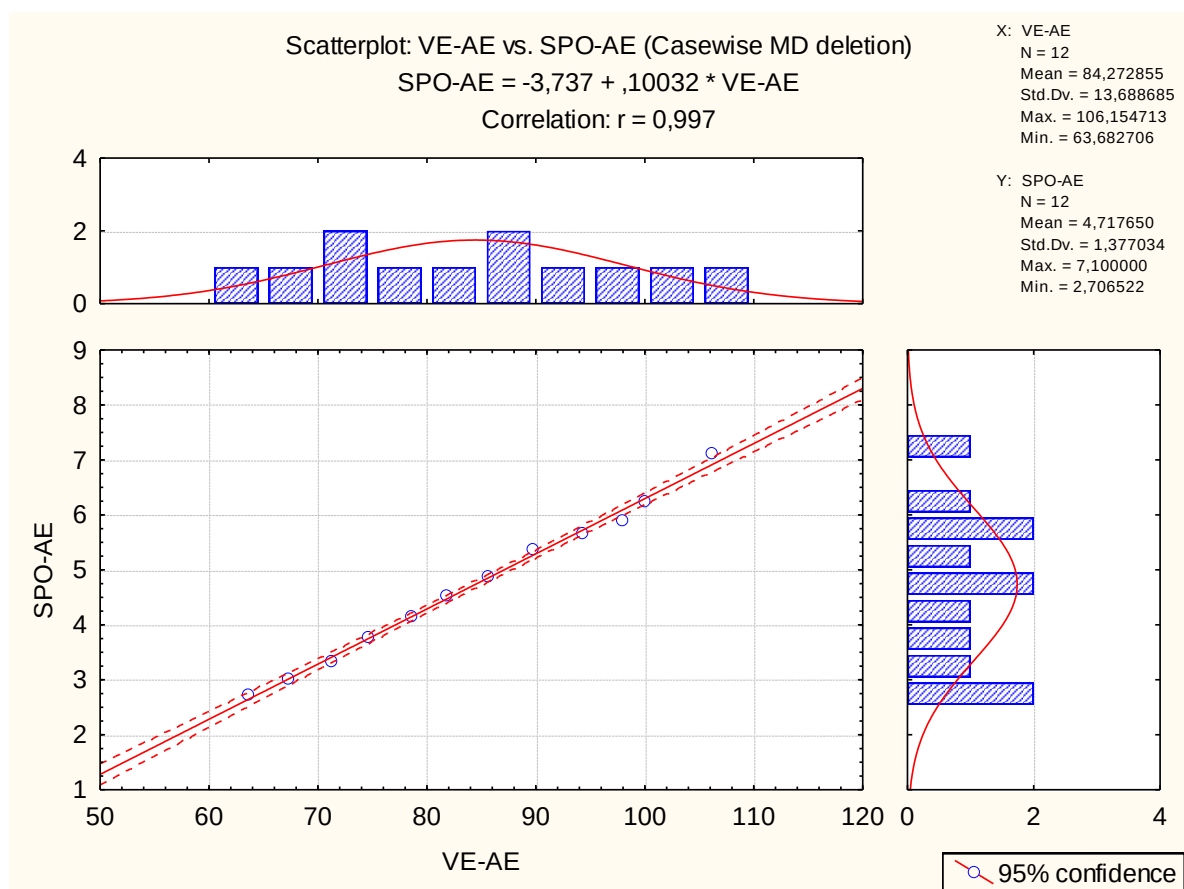
Interval pouzdanosti - 95%	-0,989 – -0,864	0,867 – 0,989	0,854 – 0,987
FD-AE	-0,962	0,984	0,992
	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%	-0,977 – -0,742	0,775 – 0,980	0,818 – 0,985
Povezanost dišnog volumena i frekvencije disanja sa metaboličkim parametrima u zoni intenziteta iznad ANP-a			
	FeCO₂-AN	FeO₂-AN	VCO₂-AN
DV-AN	-0,928	0,938	0,951
	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%	-0,978 – -0,723	0,757 – 0,982	0,803 – 0,985
FD-AN	-0,9945	0,9935	0,9868
	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti - 95%	-0,998 – -0,976	0,972 – 0,998	0,943 – 0,996

FeCO₂-AE (%) – koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **FeO₂-AE (%)** – koncentracija kisika u izdahnutom zraku u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **VE-AE (L/min)** – dišna ventilacija u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **DV-AE (L)** – dišni volumen u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **FD-AE (b/min)** – frekvencija disanja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **VCO₂-AE (ml/min)** – izdahnuti ugljični dioksid u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **FeCO₂-AN (%)** – koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku u zoni intenziteta iznad aerobnog praga; **FeO₂-AN (%)** – koncentracija kisika u izdahnutom zraku u zoni intenziteta iznad aerobnog praga; **VE-AN (L/min)** – dišna ventilacija u zoni intenziteta iznad aerobnog praga; **VCO₂-AN (ml/min)** – izdahnuti ugljični dioksid u zoni intenziteta iznad aerobnog praga

Povezanost dviju komponenti dišne ventilacije, frekvencije disanja i dišnog volumena sa metaboličkim parametrima ukazuje na postojanje značajne povezanosti neovisno radi li se o zoni intenziteta iznad ili ispod anaerobnog praga. U zoni intenziteta ispod anaerobnog praga povezanost dišnog volumena sa koncentracijom CO₂ u izdahnutom zraku iznosi r=-0,964, sa koncentracijom O₂ u izdahnutom zraku iznosi r=0,965 dok sa izdahnutom količinom CO₂ iznosi r=0,959. U istoj zoni intenziteta koeficijent korelacije frekvencije disanja sa koncentracijom CO₂ u izdahnutom zraku iznosi r=-0,962, sa koncentracijom O₂ u izdahnutom zraku iznosi r=0,984 dok sa izdahnutom količinom CO₂ iznosi r=0,992. U zoni intenziteta iznad anaerobnog praga povezanost dišnog volumena sa koncentracijom CO₂ u izdahnutom zraku iznosi r=-0,928, sa koncentracijom O₂ u izdahnutom zraku iznosi r=0,938 dok sa izdahnutom količinom CO₂ iznosi r=0,951. Povezanost frekvencije disanja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga sa koncentracijom CO₂ u izdahnutom zraku iznosi r=-0,995, sa koncentracijom O₂ u izdahnutom zraku iznosi r=0,994 dok sa izdahnutom količinom CO₂ iznosi r=0,987

4.3. Tablični i grafički prikaz analize subjektivne percepcije opterećenja (SPO)

Grafikon 14. Povezanost subjektivne percepcije opterećenja (SPO) sa dišnom ventilacijom (VE) u zoni opterećenja ispod ANP-a

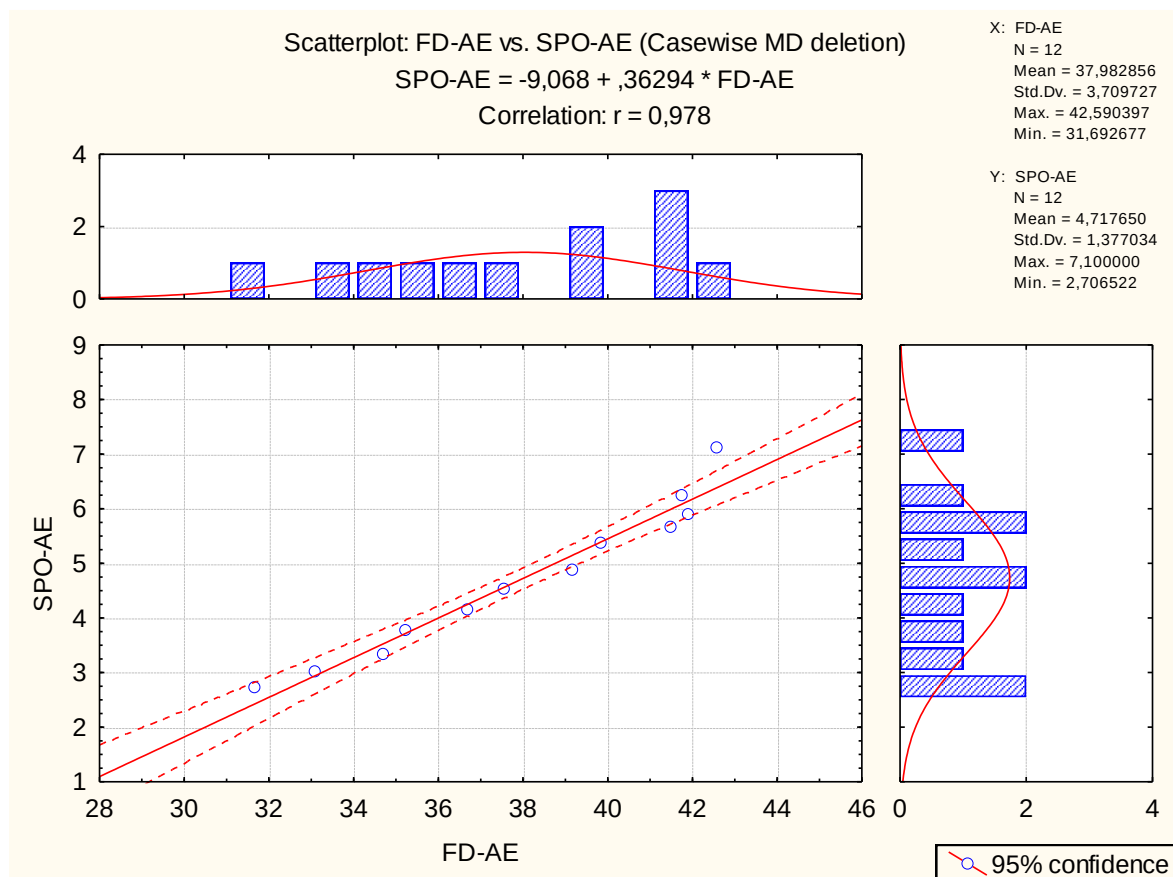


SPO-AE – subjektivna percepcija opterećenja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **VE-AE (L/min)** – dišna ventilacija u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga

N – broj intenziteta opterećenja

Interval pouzdanosti: 0,989 – 0,999

Grafikon 15. Povezanost subjektivne percepcije opterećenja (SPO) sa frekvencijom disanja (FD) u zoni opterećenja ispod ANP-a

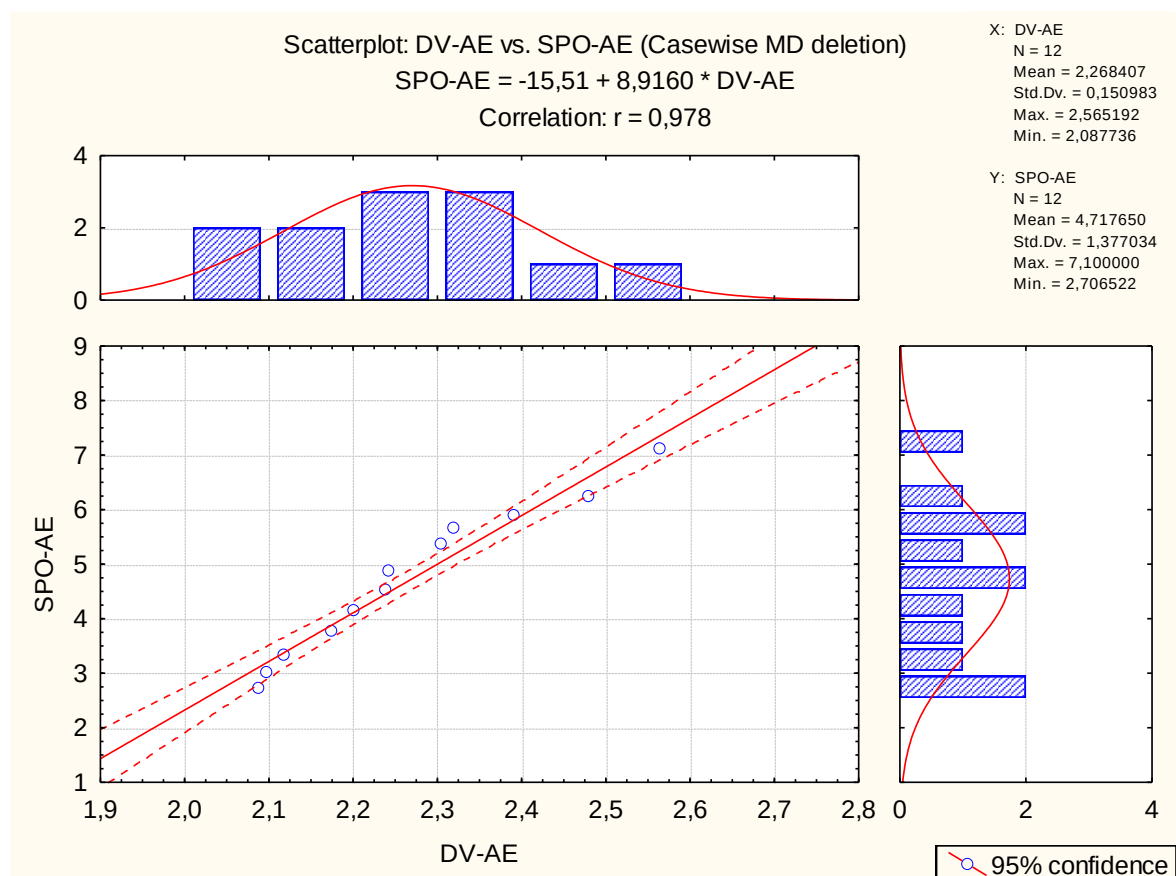


SPO-AE – subjektivna percepcija opterećenja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **FD-AE (b/min)** – frekvencija disanja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga

N – broj intenziteta opterećenja

Interval pouzdanosti: 0,914 – 0,993

Grafikon 16. Povezanost subjektivne percepcije opterećenja (SPO) sa dišnim volumenom (DV) u zoni opterećenja ispod ANP-a



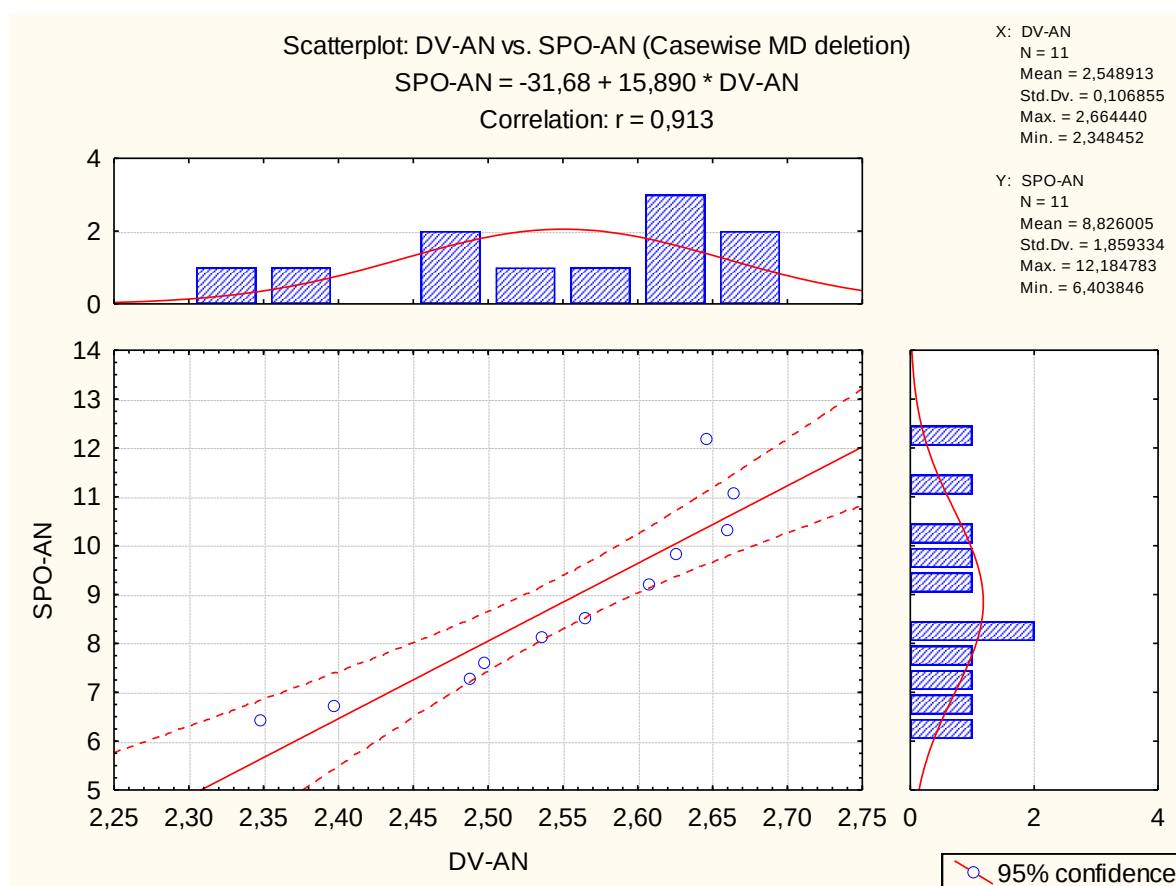
SPO-AE – subjektivna percepcija opterećenja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **DV-AE (L)** – dišni volumen u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga

N – broj intenziteta opterećenja

Interval pouzdanosti: 0,913 – 0,993

Grafički prikazi 14, 15 i 16 usmjereni su na utvrđivanje povezanosti subjektivne percepcije opterećenja sa ventilacijskim parametrima u zoni opterećenja ispod anaerobnog praga. Subjektivna percepcija opterećenja i dišna ventilacija (Grafikon 14) imaju visok koeficijent korelacije koji iznosi $r=0,997$. U istoj zoni intenziteta povezanost SPO i druga dva ventilacijska parametra također je visoka, odnosno sa frekvencijom disanja (Grafikon 15) koeficijent korelacije iznosi $r=0,978$, dok sa dišnim volumenom (Grafikon 16) ta povezanost generira koeficijent korelacije od $r=0,976$. Također, sve korelacije su statistički značajne i ta povezanost je linearne naravi.

Grafikon 17. Povezanost subjektivne percepcije opterećenja (SPO) sa dišnim volumenom (DV) u zoni opterećenja iznad ANP-a

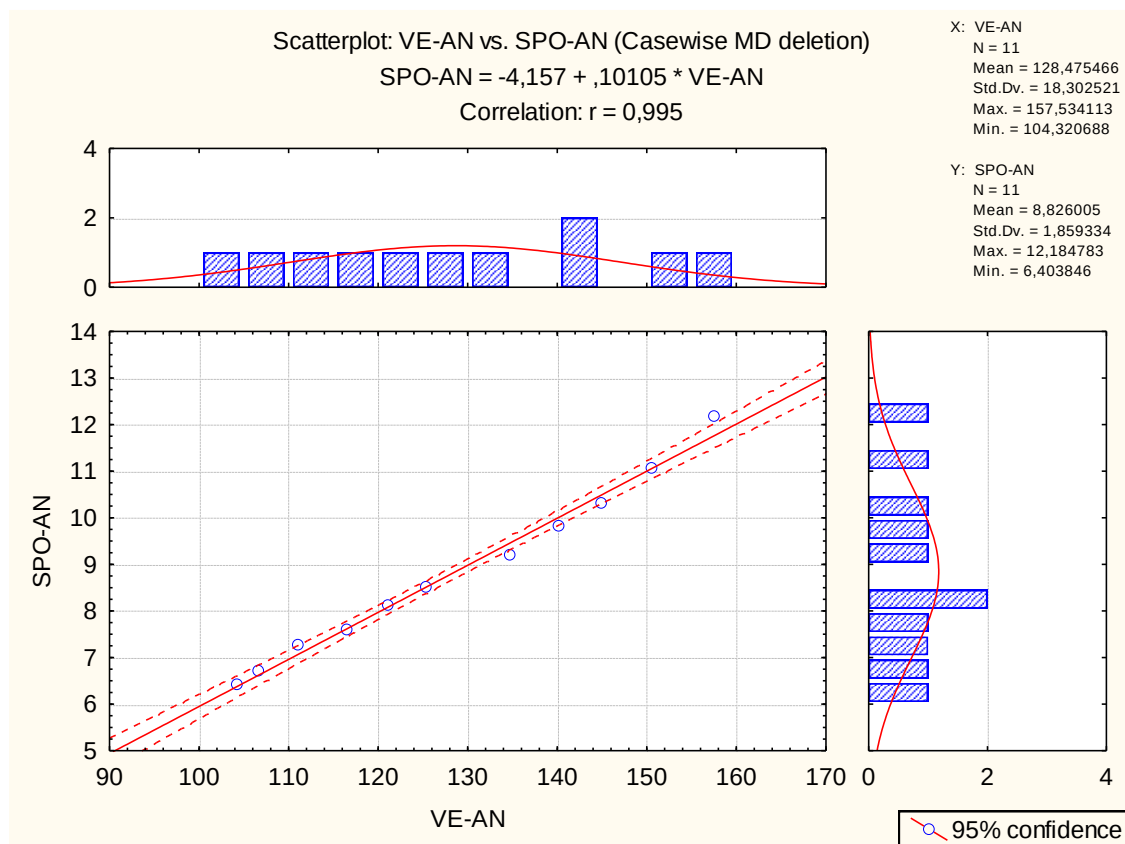


SPO-AN – subjektivna percepcija opterećenja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **DV-AN (L)** – dišni volumen u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga

N – broj intenziteta opterećenja

Interval pouzdanosti: 0,674 – 0,974

Grafikon 18. Povezanost subjektivne percepcije opterećenja (SPO) sa dišnom ventilacijom (VE) u zoni opterećenja iznad ANP-a

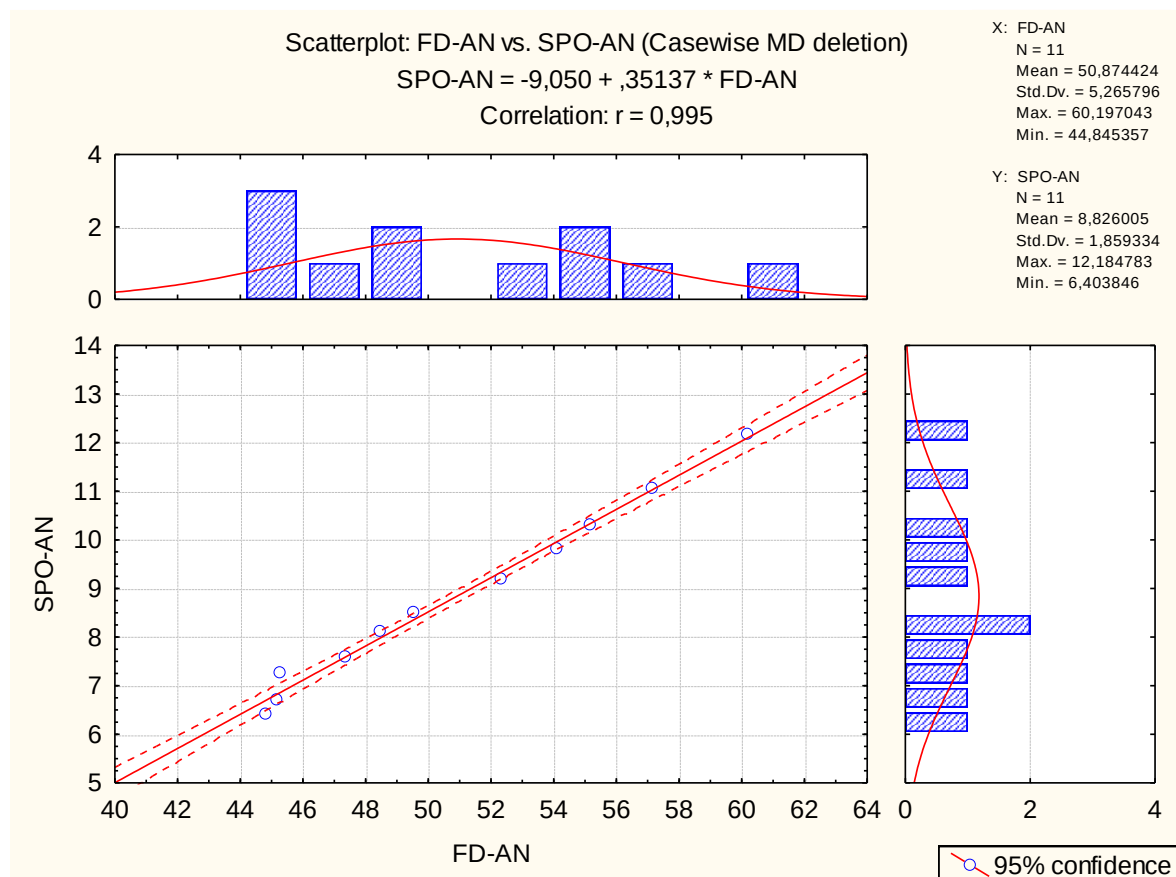


SPO-AN – subjektivna percepcija opterećenja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **VE-AN (L/min)** – dišna ventilacija u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga

N – broj intenziteta opterećenja

Interval pouzdanosti: 0,977 – 0,998

Grafikon 19. Povezanost subjektivne percepcije opterećenja (SPO) sa frekvencijom disanja (FD) u zoni opterećenja iznad ANP-a



SPO-AN – subjektivna percepcija opterećenja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **FD-AN (b/min)** – frekvencija disanja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga

N – broj intenziteta opterećenja

Interval pouzdanosti (95%): 0,979 – 0,999

U grafičkim prikazima 17, 18 i 19 moguće je vidjeti povezanost subjektivne percepcije opterećenja sa ventilacijskim parametrima u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga. Povezanost subjektivne percepcije opterećenja sa dišnim volumenom prikazana je u grafikonu 17, statistički je značajna i koeficijent korelacije iznosi $r=0,913$. I frekvencija disanja značajno korelira sa subjektivnom percepcijom opterećenja sa koeficijentom korelacije od $r=0,995$. Nadalje, korelacija SPO sa dišnom ventilacijom je također statistički značajna pri čemu je vrijednost koeficijenta korelacije $r=0,995$. Iako je kod frekvencije disanja i dišne ventilacije ta povezanost linearna, vidljivo je da je povezanost subjektivne percepcije opterećenja i dišnog volumena eksponencijalna (Grafikon 17).

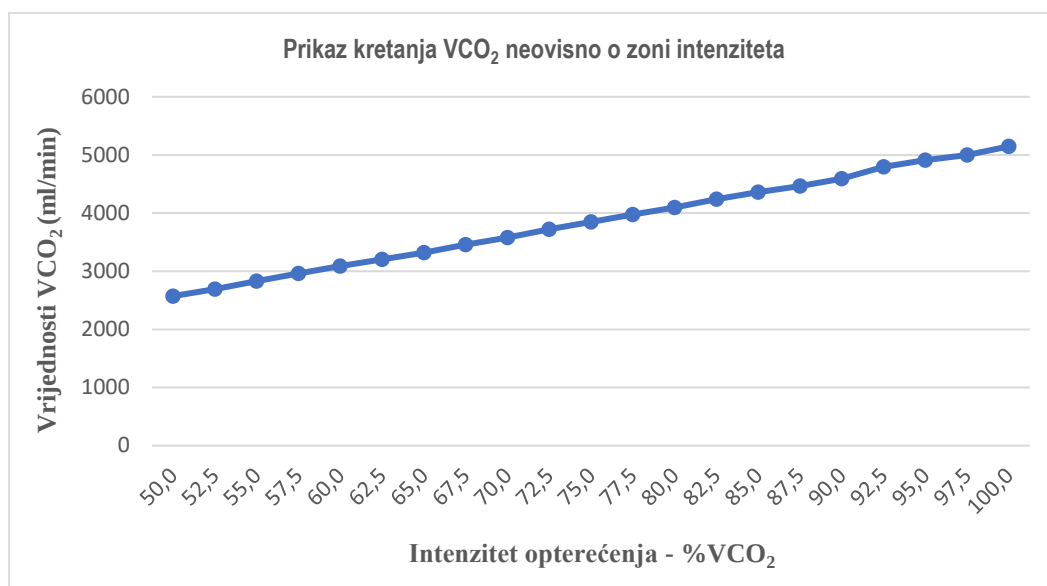
Tablica 12. Tablični prikaz značajnosti razlike nagiba krivulje metaboličkih parametara s obzirom na zonu intenziteta ispod ANP-a u odnosu na zonu intenziteta iznad ANP-a

Značajnost razlike nagiba krivulje metaboličkih parametara s obzirom na zonu intenziteta								
	AS	SD	N	Diff.	Std.Dv. - Diff.	t	df	p
b1-VCO₂ (ae)	126,907	15,573						
b1-VCO₂ (an)	131,547	15,289	46	-4,641	10,845	-2,902	45	0,006
	AS	SD	N	Diff.	Std.Dv. - Diff.	t	df	p
b1-VE/VCO₂ (ae)	0,178	0,183						
b1-VE/VCO₂ (an)	0,425	0,2907291	46	-0,247	0,346	-4,848	45	p<0,000
	AS	SD	N	Diff.	Std.Dv. - Diff.	t	df	p
b1-FeO₂ (ae)	0,074	0,043						
b1-FeO₂ (an)	0,104	0,040	46	-0,030	0,058	-3,461	45	0,001
	AS	SD	N	Diff.	Std.Dv. - Diff.	t	df	p
b1-FeCO₂ (ae)	-0,035	0,038						
b1-FeCO₂ (an)	-0,064	0,042	46	0,029	0,058	3,357	45	0,002

b1-VCO₂ (ae) – regresijski koeficijent nagiba pravca izdahnutog ugljičnog dioksida u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-VCO₂ (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca izdahnutog ugljičnog dioksida u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-VE/VCO₂ (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca efikasnosti disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-VE/VCO₂ (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca efikasnosti disanja u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-FeO₂ (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca koncentracije kisika u izdahnutom zraku u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-FeO₂ (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca koncentracije kisika u izdahnutom zraku u zoni intenziteta iznad ANP-a; **FeCO₂ (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca koncentracije ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku u zoni intenziteta ispod ANP-a; **FeCO₂ (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca koncentracije ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku u zoni intenziteta iznad ANP-a

Nagib krivulja ventilacijskih parametara s obzirom na zonu intenziteta analiziran je u Tablici 12. Nagib krivulje izdahnutog ugljičnog dioksida je strmiji u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga u odnosu na zonu ispod, pri čemu ta razlika iznosi 4,64 jedinične vrijednosti i ta razlika je statistički značajna. Nadalje, nagib krivulje efikasnosti disanja također je različit u dvije zone intenziteta i ta razlika također je statistički značajna, pri čemu je ta vrijednost u zoni ispod ANP-a 0,178, dok je u zoni iznad ANP-a 0,425, odnosno razlika je 0,247 jedinične vrijednosti, što upućuje na strmiju krivulju u zoni intenziteta iznad ANP-a. Nagib krivulje koja pokazuje koncentraciju kisika u izdahnutom zraku također pokazuje značajnost razlike nagiba s obzirom na zonu intenziteta. Nagib navedene krivulje je veći, odnosno strmiji u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga. Regresijski koeficijent nagiba krivulje koncentracije ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku također je veći u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga, i ta razlika je statistički značajna.

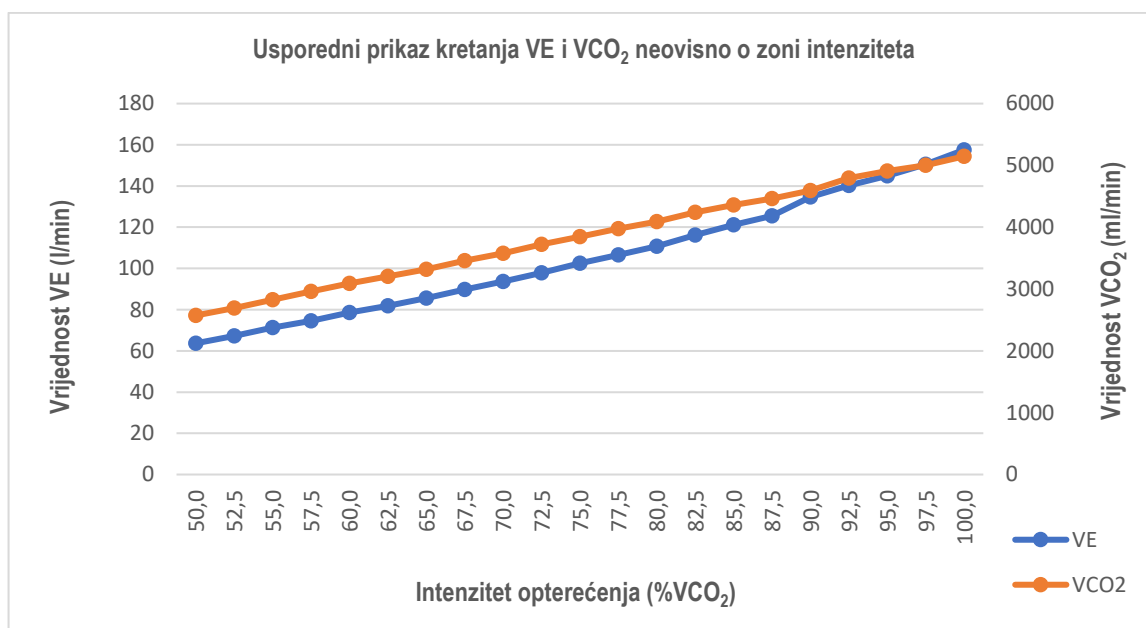
Grafikon 23. Grafički prikaz trenda kretanja izdahnutog ugljičnog dioksida neovisno o zoni intenziteta



VCO₂ (ml/min) – količina izdahnutog ugljičnog dioksida; %VCO₂ (%) -intenzitet opterećenja s obzirom na VCO_{2max}

Na grafičkom prikazu 23 vidljivo je da VCO₂ ima kontinuirani trend rasta do intenziteta od 87,5% kada se javlja točka defleksije, pri čemu se nakon toga nastavlja nova linearnost nakon navedenog intenziteta.

Grafikon 24. Usporedni prikaz kretanja izdahnutog ugljičnog dioksida (VCO_2) i dišne ventilacije (VE)



VE(L/min)-dišna ventilacija; **VCO_2 (ml/min)** – količina izdahnutog ugljičnog dioksida; **% VCO_2 (%)**-intenzitet opterećenja s obzirom na VCO_{2max}

Usporedni prikaz kretanja dva parametra, VCO_2 i VE pokazuje na sličan tijek rasta kod oba parametra. Također, zanimljivo je da se kod oba parametra događa točka defleksije skoro pa kod istog intenziteta opterećenja, tj. na intenzitetu od 87,5%, pri čemu je vidljiv paralitet kretanja kod navedena dva parametra do navedenog intenziteta, gdje onda dolazi do promjene linearnosti i određenog „skoka“ kod promatranih parametara, da bi se nakon toga nastavio paralitet u novoj linearnosti.

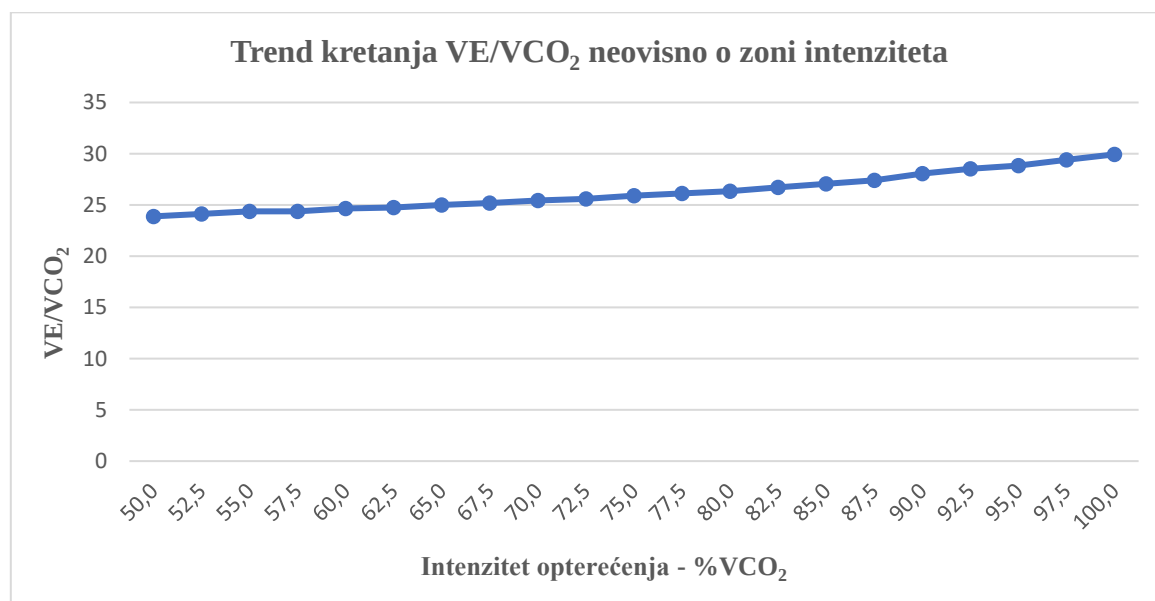
Tablica 13. Razlika u ventilacijskoj efikasnosti (VE/VCO_2) s obzirom na zone intenziteta

Razlika u ventilacijskoj efikasnosti s obzirom na zone intenziteta								
	AS	SD	N	Diff.	Std.Dv. - Diff.	t	df	p
VE/VCO_2 -AE	24,847	0,630						
VE/VCO_2 -AN	27,648	1,401	11	-2,801	0,795	-11,686	10	0

VE/VCO_2 -AE - efikasnosti disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a; VE/VCO_2 -AN - efikasnosti disanja u zoni intenziteta iznad ANP-a; N – broj intenziteta opterećenja

U tablici 13 prikazana je razlika u efikasnosti disanja s obzirom na zonu intenziteta. U zoni intenziteta ispod anaerobnog praga efikasnost disanja iznosi 24,847 dok u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga iznosi 27,648. Ta razlika od 2,801 jedinične vrijednosti predstavlja statistički značajnu razliku u efikasnosti disanja.

Grafikon 26. Grafički prikaz kretanja dišne efikasnosti neovisno o zoni intenziteta



VE/VCO_2 - efikasnosti disanja neovisno o zoni intenziteta; $\%VCO_2$ (%) - intenzitet opterećenja s obzirom na VCO_{2max}

Grafikon 26 prikazuje jedan trend kretanja efikasnosti disanja tijekom cijelog testa opterećenja. Vidljivo je da je taj trend linearnog karaktera, pri čemu je potrebno naglasiti da nakon intenziteta od 80% VCO_{2max} je krivulja trenda strmija nego do tog intenziteta, što može ukazivati na veći, nagliji, pad efikasnosti disanja.

Tablica 14. Prikaz povezanosti nagiba krivulja ventilacijskih parametara i ventilacijske efikasnosti s obzirom na zonu intenziteta

Povezanost nagiba krivulje ventilacijskih parametara i krivulje efikasnosti disanja u zoni intenziteta <u>ispod</u> anaerobnog praga			
	b1-FD (ae)	b1-VT (ae)	b1-VE (ae)
b1-VE/VCO₂ (ae)	0,847	-0,495	0,788
	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti – 95%	0,512 – 0,950	-0,816 – 0,108	0,373 – 0,929
Povezanost nagiba krivulje ventilacijskih parametara i krivulje efikasnosti disanja u zoni intenziteta <u>iznad</u> anaerobnog praga			
	b1-FD (an)	b1-VT (an)	b1-VE (an)
b1-VE/VCO₂ (an)	0,789	-0,196	0,915
	p<0,001	p=0,191	p<0,001
Interval pouzdanosti – 95%	0,376 – 0,930	-0,671 – 0,409	0,702 – 0,973

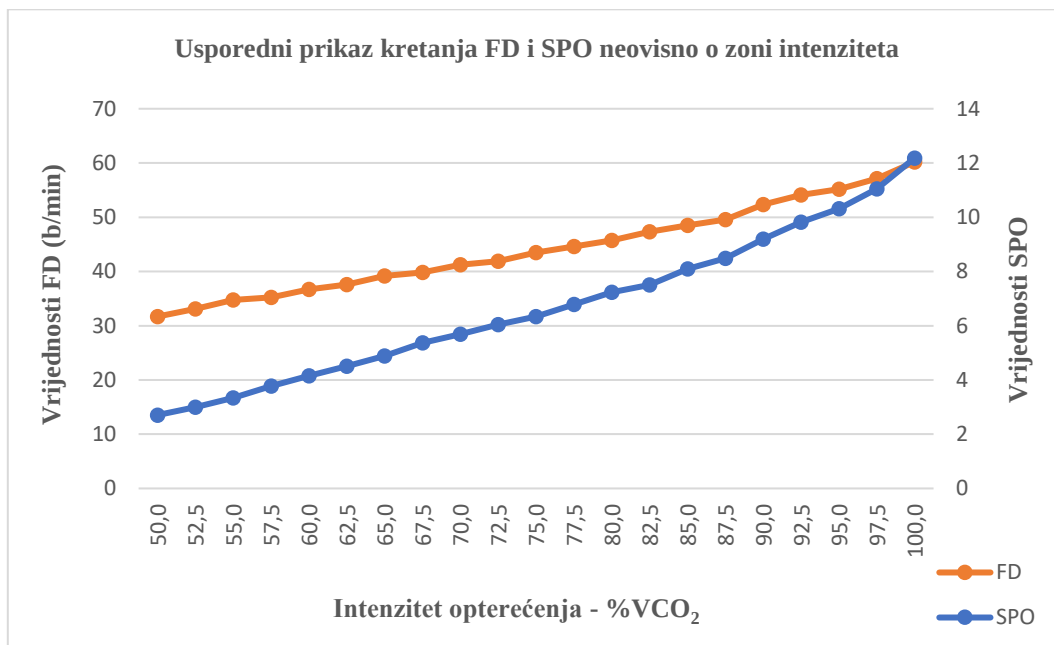
b1-VE/VCO₂ (ae) – regresijski koeficijent nagiba pravca efikasnosti disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-VE/VCO₂ (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca efikasnosti disanja u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-FD (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-FD (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca frekvencije disanja u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-DV (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-DV (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišnog volumena u zoni intenziteta iznad ANP-a; **b1-VE (ae)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije u zoni intenziteta ispod ANP-a; **b1-VE (an)** – regresijski koeficijent nagiba pravca dišne ventilacije u zoni intenziteta iznad ANP-a

Tablica 15. Prikaz povezanosti subjektivne percepcije opterećenja (SPO) sa ventilacijskim i metaboličkim parametrima

Povezanost subjektivne percepcije opterećenja (SPO) sa ventilacijskim i metaboličkim parametrima u zoni intenziteta <u>iznad</u> ANP-a							
	FeCO₂-AE	FeO₂-AE	VE/VCO₂-AE	VE-AE	DV-AE	FD-AE	VCO₂-AE
SPO-AE	-0,987	0,996	0,979	0,997	0,978	0,978	0,992
	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti – 95%	-0,996 – 0,949	0,984 – 0,999	0,918 – 0,993	0,988 – 0,999	0,915 – 0,993	0,915 – 0,993	0,968 – 0,998
Povezanost subjektivne percepcije opterećenja (SPO) sa ventilacijskim i metaboličkim parametrima u zoni intenziteta <u>ispod</u> ANP-a							
	FeCO₂-AN	FeO₂-AN	VE/VCO₂-AN	VE-AN	DV-AN	FD-AN	VCO₂-AN
SPO-AN	-0,991	0,992	0,994	0,995	0,913	0,995	0,991
	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
Interval pouzdanosti – 95%	-0,997 – -0,961	0,965 – 0,998	0,974 – 0,998	0,978 – 0,999	0,673 – 0,974	0,978 – 0,999	0,961 – 0,997

SPO-AE – subjektivna percepcija opterećenja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **VE-AE (L/min)** – dišna ventilacija u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **FD-AE (b/min)** – frekvencija disanja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **DV-AE (L)** – dišni volumen u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **FeCO₂-AE (%)** – koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **FeO₂-AE (%)** – koncentracija kisika u izdahnutom zraku u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **VCO₂-AE (ml/min)** – izdahnuti ugljični dioksid u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **VE/VCO₂-AE** – efikasnosti disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a; **SPO-AN** – subjektivna percepcija opterećenja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **VE-AN (L/min)** – dišna ventilacija u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **FD-AN (b/min)** – frekvencija disanja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **DV-AN (L)** – dišni volumen u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **FeCO₂-AN (%)** – koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku u zoni intenziteta iznad aerobnog praga; **FeO₂-AN (%)** – koncentracija kisika u izdahnutom zraku u zoni intenziteta iznad aerobnog praga; **VCO₂-AN (ml/min)** – izdahnuti ugljični dioksid u zoni intenziteta iznad aerobnog praga; **VE/VCO₂-AN** – efikasnosti disanja u zoni intenziteta iznad ANP-a

Grafikon 27. Usporedni prikaz kretanja frekvencije disanja (FD) i subjektivne percepcije opterećenja (SPO)



SPO – subjektivna percepcija opterećenja neovisno zoni intenziteta; **FD-AE (b/min)** – frekvencija disanja neovisno zoni intenziteta; **%VCO₂ (%)**-intenzitet opterećenja s obzirom na VCO_{2max}

Usporednim prikazom frekvencije disanja i subjektivne percepcije opterećenja vidljivo je da imaju obje krivulje tendenciju rasta. Kod subjektivne percepcije opterećenja taj rast ima blago eksponencijalni rast, dok frekvencija disanja ima linearni rast sa točkom defleksije nakon vrijednosti intenziteta od 87,5%VCO_{2max}.

Tablica 16. *Prikaz razlika ventilacijskih parametara „aerobne“ i „anaerobne“ skupine atletičara s obzirom na zone intenziteta*

	AS - AN	AS - AE	t-value	df	p	N - AN	N - AE	SD - AN	SD - AE	F-ratio	p
VE (aero)	77,837	85,441	-2,717	44	0,009	25	21	8,522	10,463	1,507	0,335
VE (anaero)	126,358	133,306	-1,579	44	0,121	25	21	14,924	14,783	1,019	0,976
VE ukupno	102,097	109,373	-2,072	44	0,044	25	21	11,338	12,466	1,209	0,651
	AS - AN	AS - AE	t-value	df	p	N - AN	N - AE	SD - AN	SD - AE	F-ratio	p
DV (aero)	2,287	2,158	1,2431	44	0,220	25	21	0,341	0,364	1,143	0,747
DV (anaero)	2,612	2,501	1,133	44	0,263	25	21	0,366	0,284	1,659	0,254
DV ukupno	2,449	2,329	1,226	44	0,227	25	21	0,347	0,313	1,230	0,643
	AS - AN	AS - AE	t-value	df	p	N - AN	N - AE	SD - AN	SD - AE	F-ratio	p
FD (aero)	34,625	40,439	-2,894	44	0,006	25	21	6,076	7,552	1,545	0,308
FD (anaero)	48,979	53,585	-2,211	44	0,032	25	21	7,828	5,956	1,727	0,218
FD (ukupno)	41,802	47,012	-2,637	44	0,012	25	21	6,733	6,605	1,039	0,939

AS-AN – aritmetička sredina „anaerobne“ skupine atletičara; AS-AE – aritmetička sredina „aerobne“ skupine atletičara; VE (aero) (L/min) – dišna ventilacija u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **VE (anaero) (L/min)** - dišna ventilacija u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **VE (ukupno) (L/min)** - dišna ventilacija neovisno o zoni intenziteta; **DV (aero) (L)** – dišni volumen u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **DV (anaero) (L)** - dišni volumen u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **DV (ukupno) (L)** - dišni volumen neovisno o zoni intenziteta; **FD (aero) (b/min)** – frekvencija disanja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **FD (anaero) (b/min)** - frekvencija disanja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **FD (ukupno) (b/min)** - frekvencija disanja neovisno o zoni intenziteta

Tablica 17. *Prikaz razlika metaboličkih parametara i subjektivne percepcije opterećenja (SPO) „aerobne“ i „anaerobne“ skupine atletičara s obzirom na zone intenziteta*

	AS - AN	AS - AE	t-value	df	p	N - AN	N - AE	SD - AN	SD - AE	F-ratio	p
FeCO₂ (aero)	5,254	4,994	1,892	44	0,065	25	21	0,566	0,299	3,566	0,005
FeCO₂ (anaero)	4,656	4,578	0,594	44	0,555	25	21	0,535	0,296	3,271	0,009
FeCO₂ (ukupno)	4,955	4,786	1,302	44	0,199	25	21	0,534	0,282	3,601	0,005
FeO₂ (aero)	15,485	15,667	-1,244	44	0,220	25	21	0,601	0,319	3,533	0,006
FeO₂ (anaero)	16,477	16,498	-0,174	44	0,862	25	21	0,483	0,269	3,221	0,010
FeO₂ (ukupno)	15,981	16,083	-0,791	44	0,433	25	21	0,528	0,275	3,701	0,004
SPO (aero)	4,389	4,666	-0,579	44	0,565	25	21	1,662	1,554	1,144	0,767
SPO (anaero)	8,425	9,349	-2,159	44	0,036	25	21	1,385	1,514	1,194	0,672
SPO (ukupno)	5,564	6,176	-1,416	44	0,164	25	21	1,297	1,633	1,585	0,280
VE/VCO₂ (aero)	24,314	25,325	-1,571	44	0,123	25	21	2,529	1,647	2,359	0,055
VE/VCO₂ (anaero)	27,662	27,853	-0,228	44	0,820	25	21	3,382	1,922	3,095	0,013
VE/VCO₂ (ukupno)	25,988	26,589	-0,839	44	0,406	25	21	2,886	1,699	2,884	0,019

VCO₂ (aero)	3097,817	3255,919	-1,7155	44	0,093	25	21	254,836	367,885	2,084	0,088
VCO₂ (anaero)	4425,708	4640,252	-1,654	44	0,105	25	21	350,500	524,314	2,238	0,061
VCO₂ (ukupno)	3761,762	3948,086	-1,684	44	0,099	25	21	301,489	445,505	2,184	0,069
VO₂/kg (aero)	42,700	49,402	-6,035	44	p<0,001	25	21	3,695	3,818	1,067	0,869
VO₂/kg (anaero)	54,154	62,545	-6,488	44	p<0,001	25	21	4,122	4,648	1,271	0,569
VO₂/kg (ukupno)	48,427	55,973	-6,357	44	p<0,001	25	21	3,844	4,198	1,191	0,676

AS-AN – aritmetička sredina „anaerobne“ skupine atletičara; AS-AE – aritmetička sredina „aerobne“ skupine atletičara; SPO (aero) – subjektivna percepcija opterećenja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; SPO (anaero) – subjektivna percepcija opterećenja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; SPO (ukupno) – subjektivna percepcija opterećenja neovisno o zoni intenziteta; FeCO₂ (aero) (%) – koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; FeCO₂ (anaero) (%) – koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; FeCO₂ (ukupno) (%) – koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku neovisno o zoni intenziteta; FeO₂ (aero) (%) – koncentracija kisika u izdahnutom zraku u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; FeO₂ (anaero) (%) – koncentracija kisika u izdahnutom zraku u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; FeO₂ (ukupno) (%) – koncentracija kisika u izdahnutom zraku neovisno o zoni intenziteta; VCO₂ (aero) (ml/min) – izdahnuti ugljični dioksid u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; VCO₂ (anaero) (ml/min) – izdahnuti ugljični dioksid u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; VCO₂ (ukupno) (ml/min) – izdahnuti ugljični dioksid neovisno o zoni intenziteta; VE/VCO₂ (aero) - efikasnosti disanja u zoni intenziteta ispod ANP-a; VE/VCO₂ (anaero) - efikasnosti disanja u zoni intenziteta iznad ANP-a; VE/VCO₂ (ukupno) - efikasnosti disanja neovisno o zoni intenziteta; VO₂/Kg (aero) - primitak kisika (relativni) u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; VO₂/Kg (anaero) - primitak kisika (relativni) u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; VO₂/Kg (ukupno) - primitak kisika (relativni) neovisno o zoni intenziteta

Gore navedene tablice (16 i 17) prikazuju razliku atletičara-trkača raspoređenih u aerobnu i anaerobnu grupu, s obzirom na dominantnost energetske kapaciteta u njihovoj sportskoj aktivnosti. U tako definiranim grupama sportaša uspoređivani su ventilacijski i metabolički parametri te SPO u zoni intenziteta ispod ANP-a, zoni intenziteta iznad ANP-a te neovisno o zoni intenziteta. Iz navedenih rezultata može se vidjeti da do značajne razlike dolazi između tako određenih grupa ispitanika kod dišne ventilacije to samo kod zone intenziteta ispod anaerobnog praga, te kod dišnog volumena u sva tri promatrana kriterija, i u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga, i u zoni intenziteta iznad ANP-a i neovisno o zoni intenziteta. Gledajući rezultate može se uočiti da sportaši dominantno anaerobnog energetske kapaciteta imaju značajnu nižu dišnu ventilaciju od sportaša sa dominantnim aerobnim energetske kapacitetom ($109,373_{ae} \text{ L/min}$ vs $102,097_{an} \text{ L/min}$). Vrijednosti dišnog volumena kod aerobne skupine atletičara ne razlikuje se značajno od anaerobne u niti jednom od promatranih kriterija, iako je neznatno viši kod anaerobne skupine entiteta ($2,287_{an} \text{ L}$ vs 2.158_{ae} L u zoni intenziteta ispod ANP-a; $2,612_{an} \text{ L}$ vs $2,501_{ae} \text{ L}$ u zoni intenziteta iznad ANP-a; 2.449_{an} L vs $2,329_{ae} \text{ L}$ neovisno o zoni intenziteta) dobivena razlika nije statistički značajna. Kada je riječ o frekvenciji disanja, rezultati ukazuju suprotno od dišnog volumena. Frekvencija disanja viša je kod aerobne skupine atletičara u odnosu na anaerobnu ($40,439_{ae} \text{ b/min}$ vs $34,625_{an} \text{ b/min}$) u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga. Također FD je značajno viši kod aerobne skupine atletičara i kada je riječ o zoni intenziteta iznad anaerobnog praga ($53,585_{ae} \text{ b/min}$ vs $48,979_{an} \text{ b/min}$), te kada se gleda generalno, neovisno o zoni intenziteta ($47,012_{ae} \text{ b/min}$ vs $41,802_{an} \text{ b/min}$).

Razlike u metaboličkim parametrima (Tablica 17) nisu pronađene između ovako definiranim grupama ispitanika. Količina izdahnutog CO_2 , iako se ne razlikuje značajno u odnosu na grupe ispitanika, viša je kod aerobne skupine ispitanika u obje zone intenziteta (3097_{an} ml/min vs $3255,919_{ae} \text{ ml/min}$ u zoni intenziteta ispod ANP-a; $4425,708_{an} \text{ ml/min}$ vs $4640,252_{ae} \text{ ml/min}$ u zoni intenziteta iznad ANP-a). Jedina razlika vidljiva je u primitku kisika u svim zonama intenziteta ($\text{VO}_{2ae} 49,402$ vs $\text{VO}_{2an} 42,700$ u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; $\text{VO}_{2ae} 62,545$ vs $\text{VO}_{2an} 54,154$ u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; $\text{VO}_{2ae} 48,427$ vs $\text{VO}_{2an} 55,973$ neovisno o zoni intenziteta), pri čemu anaerobna skupina ispitanika ima značajno niže vrijednosti primitka kisika u odnosu na aerobnu skupinu.

U konativnoj dimenziji sportaša homogeniziranih u dvije skupine entiteta, sportaši anaerobne skupine imaju značajnu nižu vrijednost subjektivne percepcije opterećenja u odnosu na aerobnu skupinu ($8,425_{an}$ vs $9,349_{ae}$) u zoni opterećenja iznad anaerobnog praga. U zoni

opterećenja ispod anaerobnog praga također anaerobna skupina ispitanika ima niže vrijednosti subjektivne percepcije opterećenja u odnosu na aerobnu skupinu (4,389_{an} vs 4,666_{ae}), no ta razlika od 0,277 boda nije statistički značajna.

Tablica 18. Prikaz broja ispitanika sa različito postignutim vrijednostima DV/FVC obzirom na zonu intenziteta i sportsku specijaliziranost

Udio dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu (DV/FVC)(%)											
Zona intenziteta ispod anaerobnog praga						Zona intenziteta iznad anaerobnog praga					
<30%		30%-40%		40%>		<40%		40%-50%		50%>	
8,69%		56,53		34,78%		41,30%		43,48%		15,22%	
Aerobna skupina ispitanika			Anaerobna skupina ispitanika			Aerobna skupina ispitanika			Anaerobna skupina ispitanika		
<30%	30%-40%	40%>	<30%	30%-40%	40%>	<40%	40%-50%	50%>	<40%	40%-50%	50%>
4	9	8	0	17	8	8	8	4	11	12	3

<30% - manje od 30% udjela dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu; 30%-40% - između 30% i 40% udjela dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu; 40%> - više od 40% udjela dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu; <40% - manje od 40% udjela dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu u zoni intenziteta iznad ANP-a; 40%-50% - između 40% i 50% udjela dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu; 50%> - više od 50% udjela dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu

U zoni intenziteta ispod anaerobnog praga 4 ispitanika (8,69%) ima udio DV u forsiranom vitalnom kapacitetu niži od 30%, s time da su svi ispitanici smješteni u aerobnu skupinu ispitanika. U frekvencijski razred od 30-40% udjela DV u FVC nalazi se 26 ispitanika (56,53%), s time da je 9 članova aerobne skupine, dok je 17 članova anaerobne skupine. U zadnjem frekvencijskom razredu, onom iznad 40% nalazi se 16 ispitanika (34,78%) i po osam ih je iz aerobne i anaerobne skupine (Tablica 18). Prosječna vrijednost udjela DV u FVC-u u zoni intenziteta iznad ANP-a je 42,764%. S obzirom na distribuciju frekvencija, ispitanici su podijeljeni u tri frekvencijska razreda. Prvi razred, sa udjelom DV/FVC manjim od 40% čini 19 ispitanika, što predstavlja 41.30% u odnosu na ukupan broj ispitanika, pri čemu je 11 ispitanika svrstano u anaerobnu grupu (57,89%) a 8 ispitanika u aerobnu grupu (42,11%). Drugu grupu čine ispitanici čiji udio DV u FVC između 40% i 50% FVC-a. U tom frekvencijskom razredu ima ukupno 20 ispitanika (43,48%), od čega 12 (60%) pripada anaerobnoj skupini dok 8 (40%) pripada aerobnoj skupini.

Tablica 19. Prikaz značajnosti razlike udjela DV u FVC ovisno o zoni intenziteta

Značajnost razlike udjela DV u FVC-u s obzirom na zonu intenziteta								
	AS	SD	N	Diff.	Std.Dv. - Diff.	t	df	p
DV/FVC-AE	37,129	6,392						
DV/FVC-AN	42,765	5,843	46	-5,636	2,733	-13,984	45	p<0,001

DV/FVC-AE-udio DV u FVC u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga; **DV/FVC-AN** – udio DV u FVC u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga

Značajnost razlike u DV/FVC s obzirom na zonu intenziteta uspoređivan je Tablicom 19. Udio dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu razlikuje se s obzirom na zonu intenziteta. Prosječna vrijednost u zoni ispod ANP-a je 37.129%, dok je u zoni intenziteta iznad ANP-a prosječna vrijednost 42.765%, pri čemu razlika iznosi 5,636%. Ta razlika od 5,636% predstavlja statistički značajnu razliku kada se uspoređuje DV/FVC s obzirom na zonu intenziteta.

Tablica 20. Značajnost razlike udjela DV u FVC-u u zoni intenziteta iznad ANP-a i na maksimalnom intenzitetu (100%VCO₂)

Značajnost razlike udjela DV u FVC-u u zoni intenziteta iznad ANP-a i na maksimalnom intenzitetu								
	AS	SD	N	Diff.	Std.Dv. - Diff.	t	df	p
DV/FVC - AN	42,765	5,843						
DV/FVC-100%	44,0575	5,861	46	-1,293	2,467	-3,553	45	p<0,001

DV/FVC-AN – udio DV u FVC u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga; **DV/FVC-100%** - udio DV u FVC na maksimalnom intenzitetu

Tablicom 20 u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga uspoređivana je vrijednost DV/FVC na maksimalnom intenzitetu (100%VCO₂) i tijekom cjelokupne zone intenziteta. U cjelokupnoj zoni intenziteta udio DV u FVC-u je 42,465%, dok je na maksimalnom intenzitetu 44,057%. Uočena razlika u dobivenim rezultatima iznosi 1,293% i ta razlika predstavlja statistički značajnu razliku u postotku DV u FVC kada se uspoređuje cjelokupna zona iznad anaerobnog praga u odnosu na maksimalni intenzitet.

5. RASPRAVA

U istraživanju su analizirane relacije i kretanje ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja ovisno o zonama intenziteta, definiranih kao zona intenziteta iznad i ispod anaerobnog praga. Ventilacijski i metabolički parametri, kao i subjektivna percepcija opterećenja često se koriste prilikom dijagnostičkih postupaka kao pokazatelji stanja treniranosti sportaša. Nadalje, još uvijek postoji mnogo nepoznanica vezanih uz kontrolne mehanizme koji stoje u pozadini regulacije disanja. Isto tako postoji mnogo oprečnih informacija o relacijama različitih ventilacijskih parametara, učincima metaboličkih parametara i konativnih obilježja na respiratorni sustava. U ovom radu, eksperimentalni postupak se sastojao od progresivnog testa opterećenja do otkaza koji se provodio na pokretnom sagu, pri čemu su se ventilacijski i metabolički parametri prikupljali spiroergometrijskim postupkom breath by breath metodom. Tijekom cjelokupnog spiroergometrijskog postupka prikupljali su se podaci o subjektivnoj percepciji opterećenja. Generalni rezultati ovog istraživanja ukazuju na visoku povezanost ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja neovisno o zoni opterećenja. Isto tako, nagibi krivulja trenda promatranih parametara značajno se razlikuju ovisno o zoni intenziteta ispod u odnosu na zonu intenziteta iznad anaerobnog praga. Nadalje, s obzirom na sportsku specijalizaciju, također postoji određen varijabilitet u promatranim parametrima. Pa tako, sportaši aerobne skupine imaju značajno više vrijednosti subjektivne percepcije opterećenja u odnosu na sportaše anaerobne skupine u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga. Nadalje, zanimljivo je da kod metaboličkih parametara nema statistički značajne razlike u ovako definiranim grupama ispitanika, dok kod ventilacijskih parametara, frekvencije disanja i dišne ventilacije, statistički značajna razlike postoji. Također, potrebno je naglasiti da razlika nije pronađena u ventilacijskom parametru koji predstavlja drugi dio dišne ventilacije, a to je dišni volumen. Nadalje, stupanj intenziteta, nije kao u svim dosadašnjim istraživanjima definiran temeljem brzine pokretnog saga, već temeljem postotnih vrijednosti od maksimalne koncentracije ugljičnog dioksida. Cilj ovako relativno definiranih stupnjeva intenziteta bio je u činjenici da svi sportaši imaju određene standardizirane vrijednosti na istim stupnjevima, neovisno jesu li prije ili kasnije završili test. Primjerice, postignut rezultat na brzini trake pri 12 km/h ne mora biti dostignut kod svih ispitanika, jer neki ispitanici mogu i završiti test pri toj brzini, no kada na ranije spomenuti način relativizirano intenzitet, svaki ispitanik ima točno definiran stupanj

opterećenja s obzirom na maksimalnu dostignutu vrijednost CO_2 , i ne može se dogoditi da zbog završetka testa pri određenom intenzitetu nismo u mogućnosti usporediti dobivene rezultate. Karakteristike protokola, kao što su početna brzina/snaga i nagib, povećanje intenziteta, trajanje intenziteta i vrsta ergometra, dizajnirane su prema populaciji koja se procjenjuje kako bi se omogućilo pravilno postizanje $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$. Međutim, pitanje koje desetljećima znanstvenike je, je li, zapravo, moguće potvrditi da je izmjereni $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ stvarna maksimalna vrijednost. U tu svrhu, plato u $\dot{V}\text{O}_2$ ističe se kao glavni korišteni kriterij (Bassett i sur., 2000; Doherty i sur., 2003; Poole i Jones, 2017). Međutim, nekonzistentnost u metodologiji i obradi podataka kod ranijih istraživanja dovela je do zbrke oko točnog utvrđivanja platoa primitka kisika. Kada su korištene pravilne i odgovarajuće metode određivanja platoa primitka kisika njegova pojavnost kod intervalnih vježbi je obično manje od 60% (Niemeyer i sur., 2021). Samim time, nema čvrstih dokaza o pojavnosti platoa primitka kisika neovisno o kakvim se protokolima opterećenja radi, je li riječ o supramaksimalnim ili klasičnim diskontinuiranim. To znači da na osnovi dosadašnjih dokaza $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ ne može biti dijagnosticiran kod značajnog dijela ispitanika.

Taylor i sur. (1955) su predložili ono što je postalo najpopularniji kriterij za ovu svrhu u posljednjim desetljećima. Ti su autori zaključili da promjene $\leq 150 \text{ ml min}^{-1}$ između dva uzastopna stupnja znače da se može "[...] sigurno pretpostaviti da je maksimalni unos kisika [...]" "[...] postignut". Međutim, prag od 150 ml min^{-1} kritiziran je zbog nedostatka teorijske i statističke osnove, kao i zbog nedostatka specifičnosti u odnosu na protokole koji se trenutno koriste (Schaun, 2017). Istraživanja koja su pokušala replicirati Taylorova otkrića otkrila su veliku varijabilnost u postotku ispitanika koji su pokazali plato u $\dot{V}\text{O}_2$. Štoviše, usvojene su i druge granične vrijednosti, kao što je $\leq 100 \text{ ml kg}^{-1}$ ili $\leq 50 \text{ ml kg}^{-1} \text{ O}_2$ (Astorino i sur., 2000; Froelicher i sur., 1974; Mier i sur., 2012; Cumming i Friesen, 1967) što još više otežava usporedbu studija. Bez obzira na usvojeni prag, u literaturi se nalazi velika nedosljednost u pogledu broja ili postotka uočenih platoa (Noakes, 2008; Howley, 2007). Prethodne studije identificirale su 100% (Astorino i sur., 2000) i 94% (Taylor i sur., 1955) incidenciju platoa, dok su druge izvijestile o niskim vrijednostima od čak 47%, 24% (Lucía i sur., 2006), 17% (Day i sur., 2003) pa čak i 0% (Rossiter i sur., 2006). S obzirom na spomenute varijabilnosti određivanja $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ u slučaju ovog istraživačkog projekta odlučili smo se da VCO_2 , odnosno količina izdahnutog ugljičnog dioksida bude parametar određivanja maksimalnog intenziteta pri progresivnom testu opterećenja.

5.1. Analiza i relacije ventilacijskih i metaboličkih parametara

Jedna od temeljnih adaptacijskih reakcija organizma na tjelesnu aktivnost, kada je riječ o ventilacijskim parametrima, jest povećanje dišne ventilacije. Nagli porast dišne ventilacije događa se na samom početku aktivnosti kao posljedica narušavanja homeostaze tjelesnih sustava. Nakon toga, ventilacija raste linearno sve do točke anaerobnog praga, gdje dolazi do još jednog naglog utjecaja na tjelesne funkcije uslijed metaboličkih, ali i psiholoških faktora.

Bitno obilježje hiperpneje u aktivnostima stabilnog stanja kao odgovor na submaksimalni intenzitet je njezina veličina koja je proporcionalna rastu metaboličkih produkata (VCO_2 i VO_2). To se najbolje vidi kod proučavanja ventilacijskog odgovora na intervalne aktivnosti. Ventilacija raste linearno sa venskim parcijalnim tlakom CO_2 , dok arterijski parcijalni tlak CO_2 ostaje sličan kao u stanju mirovanja. Tijekom visoko intenzivnih aktivnosti, ventilacija raste proporcionalno većom brzinom u odnosu na VCO_2 , dok posljedično P_aCO_2 pada (Bruce i sur., 2019). Tradicionalno, ovakva hiperventilacija je objašnjena simultanom metaboličkom acidozom (povišena koncentracija laktata u plazmi i vodikovih iona generiranih iz aktivne muskulature) koja stimulira periferne kemoreceptore: i povećana ventilacija kompenzira, djelomično, smanjenje arterijske pH (Rausch i sur., 1991). No, vrlo je moguće da i drugi mehanizmi imaju sposobnost značajnog doprinosa ovom fenomenu. Tijekom aktivnosti maksimalnog intenziteta minutna ventilacija kod normalne zdrave osobe može biti veća od 150l/min, dok je kod sportaša u sportovima izdržljivosti zabilježena i ventilacija viša od 200 l/min, iako je potrebno napomenuti da je ovakve vrijednosti moguće održavati samo u kratkim vremenskim razmacima (Lumb, 2017).

Kako bi se mogla odvijati mitohondrijska oksidativna fosforilacija kroz katabolizam lipida i ugljikohidrata, kao jedan od glavnih mehanizama resinteze ATP tijekom aktivnosti, a samim time i proizvodnje energije, neophodan je, uz glikogen i glukozu te mast i masno tkivo, kisik (Ward, 2018). Da bi se kisik u normalnim uvjetima trenažne aktivnosti dopremio do nužnih organela potreban je proces koji se naziva disanjem, odnosno dišnom ventilacijom. Hijerarhijski, na kraju procesa nalazi se stanično disanje koje je neraskidivo povezano sa funkcioniranjem dišnog sustava. Aerobni stanični metabolički procesi prenose energiju ugljikovodikovih veza (C-H) iz nutrijenata prema visoko energetske fosfatne veze ATP-

a, koristeći kisik i stvarajući ugljik dioksid procesom oksidativne fosforilacije. Sama oksidativna fosforilacija odvija se u mitohondrijima, koji se još nazivaju i staničnim elektranama.

Dišna ventilacija predstavlja proces izmjene zraka između atmosfere i pluća i sastoji se od dva dijela: udisaja ili inspirija te izdisaja ili ekspirija (Matković, Ružić, 2009). U skladu s energetsom potrebom za kisikom za resintezu ATP-a, nužnost izmjene plinova u skladu s metaboličkim zahtjevima predstavlja primarnu potrebu usklađivanja dišne ventilacije, frekvencije disanja (FD) te dišnog volumena (DV) (Mortola, 2019).

Proučavanje dinamičkih obilježja aktivnosti uvelike ovisi o vrsti i obilježjima same aktivnosti, odnosno, veliki utjecaj na rezultat istraživanja ima činjenica da li se istraživanje provodi aktivnošću sa kontinuiranim opterećenjem, intervalnim progresivnim opterećenjem, sinusoidalnim ili nekim drugim. Da bi pojedinac mogao obavljati aktivnosti različitog intenziteta i trajanja potrebna je poznavanje veza između oksidativnih energetske izvora i intenziteta kojim se određena aktivnost izvodi. S obzirom da kisik iz atmosfere kao dominantni izvor oksidacije može stići do mišićja samo putem krvotoka, sama prokrvljenost mišića mora proporcionalno odgovarati potrebom za kisikom. Nadalje, daljnje nagomilavanje CO₂ i mliječne kiseline tijekom aktivnosti, nalaže usklađivanje dišne ventilacije sa proizvodnjom navedenih metabolita kako bi došlo do minimalnih promjena arterijske pH (Waserman i sur., 1966).

Kada se radi o aktivnosti intervalnog intenziteta, dišna ventilacija u rasponu intenziteta od niskog do umjerenog, raste linearno. Kada dođe do intenziteta koji uzrokuje pojavu metaboličke acidoze kao rezultat aktivacije anaerobnih mehanizama uslijed povećanja intenziteta, i dišna ventilacija i VCO₂ imaju ubrzan rast, dok VO₂ nastavlja rasti linearno. Ubrzano povećanje VCO₂ u odnosu na VO₂ nastaje kao posljedica dodatno generiranog ugljičnog dioksida iz puferiranja mliječne kiseline putem bikarbonatnih iona (HCO₃⁻). Ranije spomenuti ubrazn rast VE i VCO₂ nekoliko minuta je paralelan, što omogućava da parcijalni tlak CO₂ na kraju izdaha (P_{ET}CO₂) ostane relativno konstantan. Suprotno tome, kako je povećanje ventilacije nakon anaerobnog praga ubrzano, pri čemu primitak kisika raste linearno, parcijalni tlak kisika na kraju izdaha (P_{ET}O₂) se povećava. Nadalje, daljnjim povećanjem intenziteta, parcijalni tlak CO₂ na kraju izdaha (P_{ET}CO₂) pada, što predstavlja respiracijsku kompenzaciju zbog pada pH, koji nastaje zbog metaboličke acidoze.

Ventilacijski odgovor na aktivnost kontinuiranog opterećenja, prema Wassermannu (2011) karakteriziraju tri različite faze, kako tijekom rada tako i tijekom oporavka. Prva faza, na samom početku aktivnosti, obično se javlja tijekom prvog udaha. Druga faza započinje nakon 15 sekundi, sa vremenskom konstantom od 60 – 70 sekundi (Broman i Wigertz, 1971; Linnarsson, 1974; Whipp i sur., 1980). Unutar 4 minute ventilacija doseže konstantnu razinu (faza 3) ukoliko je aktivnost izvođena ispod anaerobnog praga ispitanika. Iznad anaerobnog praga, tijekom treće faze VE sporo raste. Takav spori rast VE nakon anaerobnog praga generalno je povezan sa povećanjem frekvencije disanja, dok je za dišni volumen karakteristična konstantnost ili blagi pad kako se aktivnost nastavlja. Ovo je u suprotnosti s fiksnom frekvencijom disanja i dišnim volumenom tijekom duljeg razdoblja rada pri intenzitetu aktivnosti ispod anaerobnog praga. Simultano mjerenje VO_2 i VCO_2 ukazuje na nagle promjene tijekom prve faze koje pokazuju sličan obrazac kao i VE. Prema tome, RER (omjer respiratorne izmjene), P_{ETCO_2} (parcijalni tlak ugljičnog dioksida na kraju izdaha), P_{ETO_2} (parcijalni tlak kisika na kraju izdaha), se ne mijenjaju tijekom prvih 15 sekundi nakon prijelaza iz faze mirovanja u fazu rada. Stoga, unatoč početnom naglom rastu VE, krv u plućima nije niti hipoventilirana niti hiperventilirana (RER se niti ne povećava niti ne smanjuje). Samim time, minutni volumen srca na početku aktivnosti mora porasti jednako naglo kao i VE te i pasti jednako naglo na kraju aktivnosti. Zbog veće topljivosti CO_2 u tkivu u odnosu na O_2 , tijekom aktivnosti koju ne karakterizira stabilno stanje, određena količina metaboličkog CO_2 je pohranjena te samim time nije razmijenjena u plućima. Posljedično, RER opada tijekom sljedećih 30 sekundi prije nego poraste na uravnoteženu razinu. Evidentno, VE prati VCO_2 tijekom druge faze. Kako VE prati VCO_2 više nego VO_2 tijekom druge faze, P_{ETO_2} prolazno umanjuje uravnoteženi (stabilni) steady-state odgovor uzrokujući hipoventilaciju s obzirom na O_2 . Kada zalihe CO_2 u tkivu postanu stabilne, VE doseže stabilno stanje a P_aCO_2 (parcijalni arterijski tlak ugljičnog dioksida) postaje konstantan. Rast P_{ETCO_2} tijekom druge faze događa se zbog raste krivulje parcijalnog tlaka ugljičnog dioksida (P_aCO_2) u alveolarnoj fazi, kako raste venski parcijalni tlak ugljičnog dioksida (P_vCO_2) te minutni volumen srca. Prva faza nakon anaerobnog praga slična je fazi ispod anaerobnog praga. Međutim, druga faza nema jasno vidljiv završetak kod aktivnosti koje karakterizira stabilno stanje iznad anaerobnog praga zbog toga što VE nastavlja rasti kao odgovor na acidozu tijekom treće faze. S obzirom da VE nastavlja rasti tijekom treće faze nakon anaerobnog praga, P_{ETCO_2} opada dok P_{ETO_2} raste. Kod intenziteta na anaerobnom pragu ili manjem od anaerobnog praga (umjeren intenzitet), arterijski pH i arterijski parcijalni tlak ugljičnog dioksida (P_aCO_2) su regulirani blizu razine u fazi mirovanja. Slično, arterijski parcijalni tlak kisika (P_aO_2) je također blizu razine mirovanja. Kod

intenziteta iznad anaerobnog praga $P_a\text{CO}_2$ progresivno opada. Arterijska pH naglo opada te se izravna ili povećava do vrijednosti u mirovanju, ovisno o jačini acidoze i stupnju respiracijske kompenzacije. Prema tome, arterijski pH (pH_a) i $P_a\text{CO}_2$ nemaju jednak obrazac promjena nakon anaerobnog praga, pri čemu kontrolni mehanizam nastavlja usmjeravati pad $P_a\text{CO}_2$ dok istovremeno ograničava pad pH_a (Wasserman i sur. 2011).

Temeljem rezultata ovog istraživanja, vidljivo je da dišna ventilacija ima svoj linearan trend rasta, pri čemu je također moguće vidjeti da u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga postoji linearnost krivulje, kod anaerobnog praga dolazi do blagog narušavanja te linearnosti, da bi se krivulja trenda zatim nastavljala u novu linearnost u zoni intenziteta iznad ANP-a (Grafički prikazi 1 i 2). Ovakav fenomen vidljiv je i u mnogim ranijim istraživanjima, pri čemu se točka takvog drugog nelinearnog povećanja naziva drugim ventilacijskim pragom ili respiracijskom kompenzacijskom točkom ili anaerobnim pragom. Tijekom intervalnih aktivnosti progresivnog opterećenja ta točka defleksije ili nelinearnosti javlja se pri intenzitetu između 70 – 90% $\text{VO}_{2\text{max}}$, a upravo takav fenomen popraćen je i daljnjim povećanjem koncentracije laktata, smanjenjem H^+ i HCO_3^- iona, te istaknutom arterijskom hiperkapnijom (Wasserman i sur. 1986; McLellan 1987; Wasserman i sur. 1990).

Nagib krivulje trenda dišne ventilacije u zoni intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga, uspoređivan je t-testom za zavisne uzorke, odnosno analiziran je usporedbom *b1* regresijskih koeficijenata. Prosječna vrijednost *b1* regresijskog koeficijenta dišne ventilacije u zoni intenziteta ispod ANP-a niža je od prosječne vrijednosti *b1* regresijskog koeficijenta u zoni intenziteta iznad ANP-a (Tablica 3). Osim prosječno više vrijednosti, utvrđena je i statistički značajna razlika ovisno o zonama intenziteta (Grafički prikaz 3), pri čemu je značajno viša vrijednost regresijskog koeficijenta u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga. S obzirom na prosječno višu vrijednost *b1* regresijskog koeficijenta u zoni iznad ANP-a može se zaključiti da je strmija ventilacijska reakcija nakon anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta prije praga. Kao razlog može se navesti veća adaptacijska potreba na metaboličke zahtjeve koji se postavljaju pred organizam, posebno na uvjete metaboličke acidoze pri čemu se kao adaptacijska mogućnost javlja značajno povišenje dišne ventilacije nakon ANP-a. Tada kinetika reakcije VE postaje mnogo kompleksnija i stabilno stanje nije više održivo, primjerice zbog potrebe uklanjanja nagomilanog ugljičnog dioksida što posljedično vodi prema razvoju metaboličke acidemije. Isto tako, evidentno je da postoji i početno narušavanje homeostaze organizma, koja predstavlja održavajuće kontinuirane procese ovisne o povratnoj sprezi različitih mehanizama.

Narušavanjem homeostaze na početku aktivnosti javlja se ventilacijski odgovor kroz tri faze (Ward 2000). Inicijalnu fazu karakterizira prijelaz iz mirovanja u rad koji izaziva skoro pa trenutno povećanje ventilacije, pri čemu se to povećanje pripisuje neurološkom drivu-u za disanje s obzirom da nastupa prebrzo da se pripiše humoralnim faktorima. Drugu fazu karakterizira promjena sastava mješovite venske krvi nastala djelovanjem aktivnosti na rad aktivnog mišićja, što inicira naknadni eksponencijalni rast VCO_2 i VO_2 , s približno eksponencijalnim rastom VE. Treću fazu obilježava sinkrono stvaranje i uklanjanje ugljičnog dioksida, pri čemu nema dodatnog narušavanja homeostaze s obzirom da takvim fiziološkim procesima ne dolazi do pada pH vrijednosti uslijed nakupljanja bikarbonata i vodikovih iona što bi vodilo prema metaboličkoj acidozi. Daljnje metaboličke potrebe koje slijede nakon anaerobnog praga sugeriraju veću proizvodnju CO_2 , a samim time i veću potrebu organizma za njegovim uklanjanjem što organizam regulira povećanjem VE kroz povećanje frekvencije disanja i dišnog volumena. No, potrebno je naglasiti da se to povećanje VE u ovom istraživanju odvijalo primarno putem povećanja FD-a kada se analizira zona intenziteta i nagib krivulje ventilacijskih parametara. Iz Tablice 5 koja pokazuje značajnost razlike nagiba DV s obzirom na zonu intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga vidljivo je da takve razlike nema, dok se iz tablice 6 te grafikona 4 vidi da značajna razlika postoji kada je riječ o FD. Uočene rezultate moguće je objasniti činjenicom da narušavanje stabilnog stanja organizma do anaerobnog praga nije toliko veliko da bi izazvalo značajno narušavanje organskih sustava, iako se povećanjem VE na početku aktivnosti nastoji kompenzirati inicijalno narušavanje istih.

Nicolo i sur. (2018) smatraju da je shvaćanje regulacije dišne ventilacije jedan od temeljnih izazova respiratorne fiziologije. Također, isti autori smatraju da sve veći broj dokaza o pozadinskoj različitosti komponenti ventilacije, omogućuje shvaćanje regulacije disanja, s obzirom da različiti podražaji koji utječu na VE drugačije djeluju na FD i DV. Kako bi potvrdili svoju pretpostavku Nicolo i sur. manipulacijom eksperimentalnim uvjetima nastoje potvrditi postojanost različitih mehanizama regulacije disanja, preciznije frekvencije disanja i dišnog volumena. Grafičkim prikazima (Grafikon 6, 7 i 8) VE i ventilacijskih parametara koji definiraju ventilaciju, DV i FD, vidi se izrazito sličan trend kretanja sva tri parametra, pri čemu je potrebno napomenuti, a što se vidi i iz grafikona 6 i 8 koji prikazuju kretanje dišnog volumena da postoji platoiziranje istog prije finalizacije samog testa. Štoviše, analizirajući nagibe pravaca sva tri parametra, neovisno o zoni intenziteta vidljivo je da postoji značajna povezanost nagiba sva tri parametra, pri čemu kada se promatra neovisno o zoni intenziteta, rezultati ukazuju na višu povezanost nagiba dišne ventilacije sa frekvencijom disanja ($r=0,53$) u odnosu na

povezanost sa nagibom dišnog volumena ($r=0,35$) (Tablica 7). Potrebno je napomenuti da, promatrajući zasebno zone intenziteta, nema značajne povezanosti nagiba krivulje DV s nagibom krivulje VE bez obzira radi li se o zoni intenziteta ispod ili iznad ANP-a, dok u istim zonama postoji značajna povezanost nagiba krivulje VE i FD, s time da u zoni intenziteta iznad ANP-a se ta povezanost još dodatno povećava ($r_{AE}=0,63$; $r_{AN}=0,80$) (Tablica 8).

Nadalje, sama povezanost parametara je izuzetno visoka i u zoni intenziteta iznad i u zoni intenziteta ispod ANP-a, što i nije čudno s obzirom da je dišna ventilacija definirana kao produkt frekvencije disanja i dišnog volumena (Grafikon 9 i Grafikon 10). U slučaju ovog projekta povezanost dišne ventilacije je nešto viša s frekvencijom disanja u odnosu na dišni volumen ($r_{AE}=0,99$ vs $r_{AE}=0,97$; $r_{AN}=0,99$ vs $r_{AN}=0,94$) kada se promatra s obzirom na zone intenziteta (Tablica 9).

Ukoliko proučavamo značajnost razlike koeficijenata korelacije s obzirom na zonu opterećenja, rezultati ukazuju da nema značajne razlike u povezanosti dišne ventilacije i frekvencije disanja u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga u odnosu na zonu iznad. Kada se ista metodologija primijeni na dišni volumen dolazimo do činjenice da koeficijenti korelacija s obzirom na pojedinačni intenzitet ne pokazuju značajnost povezanosti DV i VE, unatoč činjenici da ta povezanost uistinu postoji na razini cjelokupne zone intenziteta. Razlog zašto je to tako može biti u velikoj pojedinačnoj varijabilnosti rasta odnosno pada pojedine proučavane varijable kada je riječ o tako usko definiranim intenzitetima opterećenja.

Kako bi se, moglo indirektno promatrati mogućnost postojanja različitih mehanizama djelovanja na dišnu ventilaciju, napravljene su analize utjecaja subjektivne percepcije opterećenja i izdahnutog ugljičnog dioksida na dišnu ventilaciju, ali i na njezine komponente (Nicolo i sur., 2015 – 2020). Rezultati ovog istraživanja ukazuju na iznimno visoku korelaciju VE sa subjektivnom percepcijom opterećenja (SPO) kao konativnom komponentom, ali i visoku korelaciju s metaboličkim parametrima, neovisno radi li se o koncentraciji O_2 (FeO_2) i koncentraciji CO_2 ($FeCO_2$) u izdahnutom zraku ili izdahnutom CO_2 (VCO_2). U zoni opterećenja ispod ANP-a povezanost VE iznosi $r = -0,98$ s $FeCO_2$, $r=1,00$ (Grafikon 13) s FeO_2 (Grafikon 12) te $r=1,00$ s VCO_2 (Grafikon 11). Iste vrijednosti su i kada je riječ o zoni intenziteta iznad ANP-a, pri čemu povezanost sa $FeCO_2$ iznosi $r = -1,00$, dok su ostale vrijednosti iste. Nadalje, kada je riječ o komponentama ventilacije i njihovoj povezanosti s metaboličkim parametrima vidljivo je da je FD u zoni intenziteta ispod ANP-a blizu maksimalne povezanosti s metaboličkim parametrima, s vrijednostima $r=-0,96$ s $FeCO_2$, $r=0,98$ s FeO_2 te $r=0,99$ s VCO_2 (Tablica 10). U istoj zoni intenziteta, DV ima samo nešto manje vrijednosti, koje iznose redom, $r = -0,96$ s $FeCO_2$, $r=0,96$ s FeO_2 te $r=0,96$ s VCO_2 (Tablica 10). Kada je riječ o zoni intenziteta

iznad ANP-a, povezanosti FD s metaboličkim varijablama ($r = -0,99$ s FeCO_2 , $r = 0,99$ s FeO_2 te $r = 0,99$ s VCO_2) (Tablica 9) je skoro pa identična, dok je povezanost s DV nešto malo niža sa vrijednostima $r = -0,93$ s FeCO_2 , $r = 0,94$ s FeO_2 te $r = 0,95$ s VCO_2 (Tablica 9). Rezultati povezanosti istih ventilacijskih parametara sa subjektivnom percepcijom opterećenja ukazuju na maksimalnu povezanost VE s SPO ($r = 1,00$) (Grafikon 14), te povezanost od $r = 0,98$ s FD (Grafikon 15) i DV (Grafikon 16) u zoni intenziteta ispod ANP-a. U zoni intenziteta iznad ANP-a može se vidjeti da je povezanost DV nešto niža s vrijednošću od $r = 0,91$ (Grafikon 17), dok je vrijednost koeficijenta korelacije $r = 0,99$ te $r = 1,00$ kada je riječ o VE (Grafikon 18) odnosno FD (Grafikon 19). Iz svih ovih vrijednosti vidljiva je izrazito visoka povezanost ventilacijskih parametara sa subjektivnom percepcijom opterećenja te metaboličkim parametrima neovisno o kojoj se zoni intenziteta radi. Ovakvi rezultati nisu u potpunosti u skladu sa rezultatima Nicolaa i sur. (2017. – 2021.) kod kojih su vrijednosti koeficijenata korelacije istih parametara niži nego u slučaju ovog istraživanja. Niske, odnosno neujednačene vrijednosti povezanosti navedenih parametara, gore spomenuti autori vide u mogućnosti djelovanja različitih mehanizama na dišni volumen i frekvenciju disanja, pri čemu oni ističu da je frekvencija disanja dominantno pod utjecajem konativnih karakteristika, posebice pod utjecajem neuralnog mehanizma „centralne zapovijedi“, dok je dišni volumen dominantno pod utjecajem metaboličkih faktora. Duffin i sur. (2000) govore da metabolički podražaji za koje je poznato da utječu na povećanje ventilacije, kao što su hiperkapnija i hipoksija, primarno djeluju na dišni volumen, s time da progresivnim rastom hiperkapnije prvo dolazi do rasta dišnog volumena, pri čemu ne dolazi do rasta frekvencije disanja sve dok nije došlo do značajnog porasta hiperkapnije.

U tablicama (4, 5, 6) koje govore o značajnosti razlika trenda kretanja parametara s obzirom na zonu intenziteta moguće je vidjeti, kao što je već ranije napomenuto da kod ventilacijskih parametara nema značajne razlike u nagibu odnosno veličini rasta dišnog volumena u zoni intenziteta ispod u odnosu na zonu intenziteta iznad ANP-a, dok kod VE i FD ona postoji. Nadalje, ista razlika postoji i kod metaboličkih parametara, neovisno radi li se o koncentraciji O_2 i CO_2 u izdahnutom zraku, ili izdahnutom CO_2 (Tablica 11). No, kada gledamo povezanost nagiba ventilacijskih i metaboličkih parametara postoji povezanost dišne ventilacije i izdahnutog CO_2 (Grafikon 20), dok nema povezanosti s nagibom dišnog volumena (Grafikon 21) i frekvencije disanja (Grafikon 22), što je proturječno ranije spomenutom istraživanju Duffina i sur. (2000) koji govore da hiperkapnija utječe primarno na dišni volumen, no vidljivo je da trend rasta izdahnutog CO_2 ne prati trend rasta DV, ali niti trend rasta FD, već trend rasta VE, što može ukazivati na postojanje pozadinskog, prikrivenog mehanizma na kojeg utječe

hiperkapnija i putem kojeg regulira dišnu ventilaciju, a da to nije isključivo utjecaj na dišni volumen i/ili frekvenciju disanja. Pri tome je potrebno naglasiti da se ne misli isključivo da VCO_2 ili FeO_2 ili $FeCO_2$ nemaju poveznicu s frekvencijom disanja ili dišnim volumenom. Te veze postoje, te su one, iskazane putem koeficijenata korelacije izrazito visoke, neovisno radi li se u zoni intenziteta ispod ANP-a ili zoni intenziteta iznad ANP-a (Tablica 11). Ovdje se misli na mogućnost postojanja pozadinskog mehanizma koji utječe na način pojavnosti FD i DV temeljem pojavnosti VCO_2 .

Rezultati ovog istraživanja djelomično demantiraju tezu o različitim mehanizmima kada se gleda isključivo korelacija među parametrima. Razlika u rezultatima istraživanjima mogla je nastati kao posljedica primjene različitih protokola istraživanja, s obzirom da su u istraživanju Nicoloa i sur. upotrijebljena dva protokola (sinusoidni i trapezoidni) koja su oba različita u odnosu na protokol koji je primijenjen u ovom projektu (progresivni). Samim time, ovakvi rezultati ne potvrđuju, niti ne odbacuju u potpunosti tvrdnju o postojanju različitih mehanizama. Ono što može ukazivati na mogućnost djelovanja različitih mehanizama ili mogućnost djelovanja različitih faktora u različitim unutarnjim uvjetima organizma uslijed trenajnog napora je činjenica da se frekvencija disanja i dišni volumen u potpunosti ne poklapaju, odnosno nema kontinuiranog linearnog porasta dišnog volumena (Grafikon 6). Kod posljednjih nekoliko intenziteta, u našem slučaju je to od 90% pa nadalje, nema statistički značajne razlike u postignutim vrijednostima dišnog volumena, te dolazi do njegovog platoiziranja, dok frekvencija disanja ima svoj kontinuirani linearni rast sve do kraja progresivnog testa. Većina istraživanja je izvijestila o platoiziranju DV prije iscrpljenja (Johnson i sur. 1992; Clark i sur., 1983; Spiro i sur. 1974). Plato DV se javlja zbog potrebe povećanja disanja kako na kraju inspirija tako i na kraju ekspirija, s time da je daljnje povećanje dišnog volumena pretjerano i neučinkovito. Bez obzira na dinamiku dišnog volumena, frekvencija disanja u određenom trenutku tijekom inkrementalne aktivnosti raste eksponencijalno, pri čemu se ta točka u kojem dolazi do eksponencijalnog rasta javlja kod anaerobnog praga te može služiti kao indikator istog (Carey i sur., 2005; James i sur., 1989). Razlog platoiziranja dišnog volumena predstavlja jedan vrlo kompleksan fenomen čiji su mehanizmi još uvijek nedovoljno poznati. No jedan od mogućih razloga zašto dolazi do tog fenomena jesu mehanička ograničenja respiratornog sustava, koja se najčešće javljaju kod visokih vrijednosti dišne ventilacije, pri čemu se smatra da tahipnoična tehnika disanja nastaje kao posljedica zadržavanja maksimalnih vrijednosti dišnog volumena (Romero i Shell, 2012). Isti autori ističu da do ovakve pojavnosti najčešće dolazi tijekom maksimalnih intervalnih aktivnosti, što je u slučaju ovog projekta tako i bilo. Samim time, autori navode da se ne smije

isključiti mogućnost da su mehanička ograničenja djelomično spriječila daljnje povećanje dišnog volumena. Nadalje, nakon anaerobnog praga ili respiracijske kompenzacijske točke dišni volumen može imati trojak trend: može rasti, može platoizirati, a može i opadati. U našem istraživanju kao rezultat javlja se platoiziranje dišnog volumena, pri čemu opadanje dišnog volumena može ukazivati na neefikasno disanje (Sheel, 2021).

Ono što je zanimljivo, a javlja se kod svih protokola istraživanja je fenomen dodatnog povećanja frekvencije disanja na samom kraju aktivnosti, a koje je u skladu s dišnom ventilacijom, što Sheel (2021) dodatno apostrofira i smatra da nakon ANP-a postoji mehanizam koji dodatno aktivira plućni sustav, i najvjerojatnije je nepovezan s njim. Jedna od mogućih sastavnica je dug kisika koji se javlja tijekom aktivnosti, pri čemu na kraju aktivnosti dolazi do pojave epoc-a koji predstavlja višak potrošnje kisika nakon aktivnosti, a da bi se on dopremio u organizam potrebno je povećati ventilaciju. Kako zbog mehaničkih ograničenja nije moguće toliko povećati dišni volumen, organizam povećava frekvenciju disanja kako bi nadoknadio, odnosno povratio dug kisika koji je nastao uslijed aktivnosti. Dalje, metabolička acidoza predstavlja jedan od glavnih indikatora izrazito intenzivne aktivnosti, dok dišna ventilacija predstavlja jednu od glavnih adaptacijskih reakcija održavanja pH krvi u takvim uvjetima nakupljanja vodikovih iona (H^+) te Scheinowitz (2021) smatra da je naprosto nemoguće ignorirati značaj hiperventilacije nakon ANP-a. U skladu s time, Bahlaim i sur. (2021) smatraju da brzina širenja pluća i plućni receptori istezanja mogu biti važan pokretač frekvencije disanja tijekom aktivnosti, s obzirom da stabilizacija dišnog volumena nema nikakav utjecaj na frekvenciju disanja, što se pokazalo i tijekom ovog progresivnog testa gdje je dišni volumen postigao svoju stabilizaciju, što nije imalo nikakav utjecaj na frekvenciju disanja koja je i dalje nastavila rasti usporedno s dišnom ventilacijom sve do završetka testa.

Ugljični dioksid je proizveden na staničnoj razini, te je uklonjen u atmosferu putem dišne ventilacije, no tijekom tog procesa CO_2 ima fundamentalnu ulogu u regulaciji tjelesne pH, vaskularnog tonusa (Gilbert, 2005) te kontroli ventilacije (Milsom i sur., 2004). Nedvojbeno je da stvaranje ugljičnog dioksida u organizmu uslijed aktivnosti predstavlja okidač povećanja dišne ventilacije. Samim time povišena mišićna aktivnost tijekom vježbe uzrokuje repetitivnu depolarizaciju i repolarizaciju mišićnih stanica/sarkolema, što vodi prema oslobađanju kalijevih iona iz stanice u unutarstaničnu tekućinu (Lindinger i sur. 1992; Cairns i Lindinger 2008). Fiziološki odgovor na takve procese sastoji se od brzog i intenzivnog povećanja minutne ventilacije. Povećanje ventilacije s jedne strane služi za zadovoljenje povećanih potreba za kisikom, dok s druge strane služi da uklanjanje dodatnog CO_2 (Stringer i sur. 1992; Lindinger i Heigenhauser 2012; Stickland i sur. 2013; Wasserman i sur. 2014).

Hipoksija je još jedan podražaj poznat po činjenici da uzrokuje brzo i veliko povećanje minutne ventilacije (Bernardi i sur. 2006). Rezultat je povećanje uklanjanja CO_2 što vodi prema respiratornoj alkalozii. Također, aferentna vlakna perifernih kemoreceptora stimuliraju ventilaciju tijekom aktivnosti. Takav stimulirajući podražaj od tjelesne aktivnosti na aferentna vlakna karotidnih kemoreceptora uglavnom dolazi od povećanja tjelesne temperature, acidoze te koncentracije ugljičnog dioksida i kalija (Mcardle i sur., 2010).

Kao što je već ranije navedeno, postoji vrlo visoka povezanost VCO_2 i VE pri čemu u zoni iznad praga ta povezanost doseže maksimalne vrijednosti koeficijenta korelacije. Ovakvi dobiveni koeficijenti korelacije u skladu su s ranijim istraživanjima, neovisno radi li se o aerobnoj aktivnosti ($r=0,96$) na bicikloergometru (Davis i sur., 1980) ili na pokretnom sagu u uvjetima normoksije ($r=0,96$) (Flenley i sur., 1979). S obzirom na visoku povezanost ova dva parametra potrebno je napomenuti da se ta povezanost ne razlikuje u zoni ispod anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta iznad anaerobnog praga ($\text{ASr}_{\text{AE}}=0,999471$ vs $\text{ASr}_{\text{AN}}=0,997041$). Do sada nije bilo istraživanja koja su analizirala odnos ventilacijskih i metaboličkih parametara na ovakav način, već su istraživanja bila usmjerena na aktivnosti s dominantnim udjelom aerobnih energetske procesa ili aktivnosti u kojima dominiraju anaerobni energetske procesi. Nakon respiracijske kompenzacijske točke, kod aktivnosti intervalnog opterećenja, ventilacija raste neproporcionalno kako u odnosu na primitak kisika tako i na uklanjanje ugljičnog dioksida. Nakon respiracijske kompenzacijske točke odgovor organizma na novonastale uvjete je popraćen dodatnim povećanjem koncentracije laktata, smanjenjem vodikovih (H^+) iona i bikarbonata (HCO_3^-) te izraženom arterijskom hipokapnijom (Wasserman i sur. 1986; McLellan 1987; Wasserman i sur., 1990). Analizirajući trend kretanja krivulje VCO_2 vidljiv je jedan linearan trend (Grafikon 23) tijekom cjelokupnog trajanja testa. Razlika u nagibu krivulje VCO_2 ukazuje na značajnu razliku s obzirom na zonu intenziteta ispod u odnosu na zonu intenziteta iznad ANP-a (Tablica 11). Značajnost razlike u trendu očituje se višim b_1 regresijskim koeficijentom u zoni iznad ANP-a, što ukazuje na viši nagib same krivulje. Viši nagib krivulje upućuje na značajnije stvaranje CO_2 tijekom intenziteta nakon anaerobnog praga. Isti princip detektiran je i kada je riječ o dišnoj ventilaciji, a kako je poznato da organizam na višu pojavu ugljičnog dioksida djeluje povećanjem ventilacije, vidljiva je prisutnost ovakvog fenomena i ovdje. Nadalje, ovakav fenomen vidljiv je i kod frekvencije disanja (Tablica 6), no nije vidljiv kada je riječ o dišnom volumenu (Tablica 5).

Kada bi se jednim sintetičkim pristupom analizirao ovakav način djelovanja ventilacijskih i metaboličkih parametara, moglo bi se zaključiti da je na pojavnost više količine CO_2 nakon anaerobnog praga, organizam na njegovo uklanjanje djelovao povećanjem dišne

ventilacije, ali putem strmijeg, naglijeg povećanja frekvencije disanja, u odnosu na dišni volumen. Naravno, iz rezultata je vidljivo da postoji značajna razlika i u vrijednostima dišnog volumena, što ukazuje da je i dišni volumen značajno povećan u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga. No potrebno je naglasiti da je intenzivniji bio rast frekvencije disanja nakon anaerobnog praga u odnosu na intenzitet rasta dišnog volumena nakon anaerobnog praga. Razlog takvog rasta može biti u činjenici da su mehanička ograničenja pluća dosegla svoj vrhunac pa daljnji intenzivniji rast dišnog volumena više nije bio moguć. Mehanička ograničenja povezana sa dišnim putevima ili prsnim košom mogu postaviti gornje granice ograničenja minutne ventilacije tijekom aktivnosti (Johnson i sur., 1992). Nadalje, Dempsey i sur. (1984) sugeriraju da relativna hipoventilacija može nastati sekundarno kao rezultat mehaničkih ograničenja na ventilaciju. Samim time mehanička ograničenja pod utjecajem prsnog koša ili dišnih puteva, mogu imati važnu uzročnu ulogu u neadekvatnosti ventilacije tijekom visoko intenzivne aktivnosti kod nekih vrhunskih sportaša. Rezultati nedavnih istraživanja ukazuju da mehanička ograničenja na ekspiracijski protok mogu značajno doprinijeti vježbom induciranoj hipoksemiji (exercise induce hypoxemia). Johnson i sur. (1992) izvješćuju da sportaši sa limitiranim protokom zraka nisu uspjeli povećati inspiracijski i ekspiracijski tlak putem hipoksičnog inspiratora tijekom aktivnosti maksimalnog intenziteta. Slično, Chapman i sur. (1999) također izvješćuju o nemogućnosti povećanja ventilacije kod sportaša i otkrivaju da oni s najtežim ograničenjem ekspiratornog protoka nisu mogli povećati ventilaciju kada im je dat hipoksični inspirator, dok su sportaši bez ograničenog protoka mogli značajno povećati minutnu ventilaciju. Sukladno tome, autori navode da ograničenje protoka ne znači nužno slabiju ventilaciju, što je moguće vidjeti u usporedbi kod sportaša slično treniranih koji ne pokazuju ograničenje protoka. Ograničenje protoka ukazuje na to da se subjekti približavaju svom maksimalnom mehaničkom kapacitetu za ventilaciju, a ne da subjekti nužno nisu u mogućnosti dovoljno ventilirati.

Tijekom intenzivnijih aktivnosti, jednom kada DV dosegne približno 50–60% vitalnog kapaciteta, dolazi do platoa dišnog volumena i daljnje povećanje VE je dosegnuto isključivo povećanjem FD. Dodatni rast VE uzrokovan povećanjem FD se najčešće naziva tahipneički obrazac disanja kod visoko intenzivnih aktivnosti. Samo takvo povećanje FD je postignuto smanjenjem i vremena inspirija ali i vremena ekspirija. Takve promjene u vremenu disanja i plućnim volumenima imaju korist jer povećanjem DV radije nego jednostavno povećanje FD znači da je minimalizirana ventilacija mrtvog prostora te je maksimizirana alveolarna ventilacija. Zatim, ograničenje rasta DV tijekom iscrpljujućih aktivnosti te smanjenje krajnjeg

ekspiracijskog plućnog volumena (EELV) ispod razine mirovanja utječe i na minimiziranje elasticiteta kod dišnog rada (Derchak i sur., 2000). Uz to, aktivacija ekspiratorne muskulature znači i da je intraabdominalni tlak povišen sa izduženim ošitom na kraju izdaha, što omogućuje mišićima rad blizu optimalne dužine za generiranje sile (De Troyer i Wilson, 2009). Nadalje, rastezanje pluća pri visokom DV ograničava dišne puteve čime tako uzrokuje bronhodilataciju (Fredberg i sur., 1997).

Sam ventilacijski odgovor na tjelesnu aktivnost vođen je načelom "minimalnog napora". S jedne strane pretjerano povećanje ventilacije bilo bi energetski neučinkovito, što bi rezultiralo hipokapnijom i alkalozom. S druge strane nedovoljno povećanje ventilacije uzrokovalo bi hipokapniju, hipoksemiju i acidozu. Postoji nekoliko rezultata istraživanja koji podupiru koncept minimalnog napora (Shell i Romer, 2012). Prvo, eksperimentalni podaci zajedno s matematičkim modelima (Otis i sur., 1950; Mead, 1963; Yamashiro, 1973) pokazuju da su ventilacijski obrasci koji se prirodno javljaju tijekom vježbanja najmanje skupi u smislu potrošnje energije. Drugo, ventilacija tijekom vježbanja događa se unutar raspona plućnih volumena za koje je ukupna popustljivost pluća najveća. To znači da je količina rada koja se obavlja na plućima i stijenci prsnog koša da bi se postigla određena promjena DV manja nego pri višim ili nižim plućnim volumenima. Kombinacija povećanih frekvencija disanja i dišnog volumena također se mora uzeti u obzir kada postoji potreba za minimiziranjem ventilacije mrtvog prostora. To jest, povećanje FD ne može biti pretjerano jer će inače doći do "potrošene" ventilacije. Povećanje DV također ne može biti pretjerano jer bi to zahtijevalo dodatno stvaranje subatmosferskog intratorakalnog tlaka i stoga velike količine rada respiratornih mišića. Duljina respiratornih mišića također mora biti optimizirana tako da je proizvodnja sile maksimalna za danu motoričku naredbu (Shell i Romer, 2012). Povećanje DV tijekom aktivnosti je postignuto smanjenjem krajnjem ekspiracijskog plućnog volumena (end-expiratory lung volume – EELV) ispod funkcionalnog rezidualnog volumena. Pad krajnjeg ekspiracijskog plućnog volumena se javlja već i tijekom vrlo blage aktivnosti zbog aktivne kontrakcije ekspiratorne muskulature (Grimby i sur., 1976; Henke i sur., 1988). Dodatno povećanje DV javlja se zbog povećanja krajnjeg inspiracijskog plućnog volumena (end-inspiratory lung volume – EILV).

Drugi mogući faktor je bio taj što sportaši nisu bili u stanju svjesno povećati dišni volumen zbog ne posjedovanja znanja o tome. Drugim riječima nisu učili kako svjesno utjecati na povećanje dubine disanja. Upravo takvo duboko disanje ima mnoge primjenjive dobrobiti, pa bi samim time moglo utjecati i na izvedbu aktivnosti. Primjerice kod Pranayama načina disanja dolazi do opadanja primitka kisika, frekvencije srca i krvnog tlaka, s povećanjem

amplitude EEG teta valova i parasimpatičke aktivnosti (Jerath i sur., 2008). Takvim, dubokim disanjem dolazi do istezanja plućnog tkiva što proizvodi inhibitorne signale usporenim prilagođavanjem „stretch“ receptora i fibroblastičnom hiperpolarizacijskom strujom, gdje su rezultati neposrednih efekata vidljivi već nakon pet minuta vježbe pranayama disanja (Pramanik i sur., 2009). Pri tome je potrebno naglasiti da je i dijasbolički krvni tlak i prosječni krvni tlak značajno smanjen. Slični efekti dobiveni su istraživanjem dijafragmalnog sporog disanja, s jednim dodatnim zanimljivim efektom usmjerenim prema značajnom smanjenju simpatičkog uzbuđenja i percepciji boli (Busch i sur., 2012), gdje se pokazalo da je takav način disanja vrlo efikasan u smanjenju osjećaja boli, nuspojava koje se javljaju prilikom dječje imunizacije (Chambers i sur., 2009), smanjenju boli uzrokovane trudovima tijekom poroda, posebice kod latentnih trudova prije poroda (Yildirim i Sahin, 2004). Samim time, moguće je da se usavršavanjem ovakvog načina disanja može povećati tolerancija na bol kod sportaša odnosno snižavanje subjektivne percepcije opterećenja, što bi moglo dovesti i do efikasnijeg načina disanja u zoni intenziteta nakon anaerobnog praga. Slijedom, vidljivo je grafički da postoji trend usporednog kretanja izdahnutog ugljičnog dioksida i dišne ventilacije (Grafikon 24), ali i da postoji statistički značajna povezanost nagiba pravaca ($r=0,29$) tih varijabli (Grafikon 25), iako je ona vrlo niska.

U ovom istraživačkom projektu prosječni udio dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu kretao se u zoni intenziteta ispod ANP-a u intervalu od 24,19% pa do 54,17% , dok je u zoni intenziteta iznad ANP- taj interval od 31,68% pa do 54,50%. Do sada nije bilo istraživanja u kojima se analizirao udio DV u FVC s obzirom na zone intenziteta. U niti jednog subjekta udio DV u FVC-a nije bio veći od 60%. Analizirajući navedeni parametar može se uočiti da je statistički značajna razlika s obzirom na zone intenziteta delimitirane anaerobnim pragom, s time da je veći udio DV u FVC-u u zoni intenziteta iznad ANP-a, što je u skladu sa rezultatima ranijih istraživanja koja govore da udio DV u forsiranom vitalnom kapacitetu kod submaksimalnog i maksimalnog intenziteta iznosi između 50-60% FVC-a. Iako postoje ispitanici koji su i u aerobnoj zoni imali udio DV u FVC od 54,17%, prosječna vrijednost u zoni intenziteta ispod ANP bila je 37,128% dok je u zoni intenziteta iznad ANP-a bila 42,764% (Tablica 18). Uočena razlika predstavlja statistički značajnu razliku s obzirom na zonu intenziteta. Takav odnos je razumljiv s obzirom da približavanjem maksimalnih vrijednosti intenziteta opterećenja dišni volumen doseže svoje maksimalne vrijednosti a zbog energetske efikasnosti disanja ne povećava udio u forsiranom vitalnom kapacitetu, s obzirom da rad respiratorne muskulature mora biti optimiziran ovisno o potrebi ispoljavanja maksimalne sile u određenom trenutku.

U zoni intenziteta ispod anaerobnog praga 4 ispitanika (8,69%) ima udio DV u forsiranom vitalnom kapacitetu niži od 30%, s time da su svi ispitanici smješteni u aerobnu skupinu ispitanika. U frekvencijski razred od 30-40% udjela DV u FVC nalazi se 26 ispitanika (56,53%), s time da je 9 članova aerobne skupine, dok je 17 članova anaerobne skupine. U zadnjem frekvencijskom razredu, onom iznad 40% nalazi se 16 ispitanika i po osam ih je ih aerobne i anaerobne skupine (Tablica 18).

Prosječna vrijednost udjela DV u FVC-u u zoni intenziteta iznad ANP-a je 42,764% što je manje u odnosu na rezultate ranijih istraživanja. No potrebno je naglasiti da kada pogledamo maksimalni intenzitet (100%VCO₂), onda se ta vrijednost povećava sa 42,764% na 44,057% što predstavlja statistički značajnu razliku (Tablica 19). Ali i dalje, udio dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu iznosi manje nego u rezultatima ranijih istraživanja. Razlog tome može biti efikasniji rad respiratorne muskulature s obzirom na stanje treniranosti ispitanika, pa je optimalan način rada muskulature takav da ne treba povećavati udio dišnog volumena. Nadalje, s obzirom na spomenuti kriterij, ispitanici su svrstani u tri frekvencijska razreda. Jednu grupu/razred čine ispitanici čiji udio DV u FVC iznosi više od 50%, i broj takvih ispitanika je 7, odnosno 13,04% od ukupnog broja ispitanika i potrebno je naglasiti da četvero ispitanika pripada aerobnoj grupi ispitanika, dok je dvoje ispitanika smješteno u anaerobnu grupu ispitanika. Drugu grupu/razred ispitanika čine subjekti sa udjelom DV između 40-50% FVC-a. Broj takvih ispitanika se razlikovao ukoliko za kriterij uzmemo maksimalni intenzitet u odnosu na intenzitet u zoni opterećenja iznad ANP-a. Kod maksimalnog intenziteta udio broja ispitanika je 60,87% u odnosu na 43,48% u cjelokupnoj zoni intenziteta. Također, analizira li se struktura ispitanika, ispada da kod maksimalnog intenziteta 11 ispitanika pripada aerobnoj grupi (39,29%), dok 17 njih pripada anaerobnoj grupi ispitanika (60,71%). Kod cjelokupne zone intenziteta iznad ANP-a broj ispitanika je 20, od čega 12 pripada anaerobnoj skupini, dok 8 pripada aerobnoj skupini. Iako je ukupan broj ispitanika u tom frekvencijskom razredu na maksimalnom intenzitetu veći, potrebno je naglasiti da u ukupnom broju, broj ispitanika anaerobne skupine čini 64,70% od ukupnog broju ispitanika, dok kod cjelokupne zone je taj postotak neznatno veći i iznosi 66,66%. Isto tako potrebno je naglasiti da razlika u broju aerobnih i anaerobnih sportaša nije statistički značajna, niti u jednoj kriterijskoj varijabli (maksimalni intenzitet ili cjelokupna zona). Treću grupu/razred čine ispitanici kod kojih je udio dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu manji od 40%. Uzme li se u obzir cjelokupna zona intenziteta iznad anaerobnog praga, udio takvih ispitanika je 41,30%, pri čemu je 11 ispitanika svrstano u anaerobnu grupu (57,89%) a 8 ispitanika u aerobnu grupu (42,11%).

Ukoliko se promatra samo maksimalni intenzitet onda broj ispitanika pada na 26.09%, s time da je podjednak broj ispitanika i u aerobnoj (6) i u anaerobnoj grupi (6).

Iz rezultata ovog istraživanja vidljivo je da ne postoji uniforman obrazac kretanja udjela dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu. Vidljivo je samo da taj udio raste sa porastom intenziteta, odnosno da se razlikuje ovisno o tome radi li se u zoni intenziteta ispod ili iznad anaerobnog praga, što je i očekivano s obzirom na fiziološke zahtjeve koji se pred organizam postavljaju s dolaskom do anaerobnog praga i prelaskom istog. Također, s obzirom na trenažnu dominantnost, odnosno na specifični karakter trenažnih operatera koji sportaši koriste s obzirom da su specijalizirani u sportovima dominantno aerobne energetske strukture ili dominantno anaerobne energetske strukture vidljivo je da ni tu nema razlike u udjelu dišnog volumena. Samim time, može se zaključiti da povećanje dišnog volumena u forsiranom vitalnom kapacitetu nije ovisno o sportskoj specijalizaciji, neovisno radi li se o maksimalnom intenzitetu ili pak se promatra tijekom cjelokupne zone intenziteta iznad anaerobnog praga. Vrlo je vjerojatno da svaki organizam prepoznaje uvjete (endogene i egzogene) u kojima se nalazi i temeljem njih odabire optimalan način ventilacijskog odgovora.

Kroz različite eksperimentalne uvjete, odnos između izdahnutog CO₂ i dišne ventilacije definiran je kao mjera efikasnosti disanja tijekom određenog intenziteta ili opterećenja. Tijekom intervalnog opterećenja, krivulja linearnog odnosa ventilacije i izdahnutog CO₂ je najčešće primjenjivana metoda određivanja ventilacijske efikasnosti. Sama efikasnost disanja predstavlja sposobnost ili moć dišne ventilacije da ukloni metabolički proizveden CO₂ tijekom aktivnosti. Prihvaćajući činjenicu da nagib krivulje VE/VCO₂ predstavlja ventilacijsku senzibilnost, postoje tri moguća mehanizma putem kojih se respiracijska efikasnost može mijenjati putem trenažnog procesa: prva mogućnost je putem promjene „mrtvog prostora“ na nižim intenzitetima (Wood i sur., 2008), druga mogućnost je u boljoj mehaničkoj efikasnosti respiracijskih mišića (Shell, 2002) i treća mogućnost je putem poboljšane osjetljivosti kemoreceptora (Babb i sur., 2010). Iako se čini važnim biti sposoban izmjenjivati veliki volumen zraka kako bi se održao parcijalni tlak kisika (PaO₂) i zasićenost hemoglobina, istraživanja govore da sportaši u sportovima izdržljivosti imaju niži ventilacijski ekvivalent za CO₂ (VE/VCO₂) u odnosu na nesportaše (Martin i sur., 1979). Pretpostavlja se da takva desenzibilizacija na CO₂ i sposobnost povećanja dišne ventilacije kod sportaša može ukazivati na adaptaciju na trening te donosi prednost kod izvedbe sportaša (Martin i sur., 1979). Kardiorespiratorna spremnost organizma se često procjenjuje putem ventilacijske (dišne) efikasnosti (Sun i sur., 2002; Brown i sur., 2013). Osnovni uzrok ventilacijske efikasnosti je

usklađivanje ventilacije i prokrvljenosti u plućima, a samim time neusklađenost prokrvljenosti (perfuzije) pluća i dišne ventilacije smanjuje efikasnost izmjene plinova u plućima, zahtijevajući povećanje ventilacije za stvoreni ugljični dioksid i parcijalni arterijski tlak ugljičnog dioksida (PaCO_2). Takav fenomen nepodudaranja u suštini dovodi do hiperpneje i dispneje (Reindl i Kleber, 1996) što utječe na ventilacijsku izvedbu. Sun i sur. (2012) dokazali su da krivulja nije ovisna o modalitetu aktivnosti (vježbe), dok su s druge strane Davis i sur. (Davis i sur., 2006) ustvrdili da je nagib krivulje blaži, a samim time i efikasnost disanja veća kod bicikloergometra u odnosu na pokretni sag kod žena, no ne i kod muškaraca. U ovom istraživanju efikasnost disanja se razlikuje s obzirom na zone intenziteta. Kao što je i očekivano, značajno je efikasnije disanje u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta iznad ($\text{VE}/\text{VCO}_{2\text{aero}} = 24,84653$ vs $\text{VE}/\text{VCO}_{2\text{anaero}} = 27,648$), (Tablica 13). Trend krivulje, odnosno nagib krivulje ima linearan rast (Grafikon 26), s time da uspoređujući nagib krivulja u zoni intenziteta ispod i iznad ANP-a uočena je statistički značajna razlika (Tablica 14), pri čemu je strmiji nagib krivulje u zoni iznad anaerobnog praga, što također dovodi do zaključka da naglim narušavanjem homeostaze ugljičnog dioksida u organizmu, dolazi do sve veće ventilacije kako bi se uklonio nagomilani CO_2 i kako bi se ponovno organizam dovelo u stanje ravnoteže. Da sama ventilacija utječe na efikasnost disanja dokazuje i tablični prikaz (Tablica 13) povezanosti krivulja nagiba dišne ventilacije i efikasnosti disanja. Koeficijent povezanosti ova dva parametra u zoni intenziteta iznad ANP-a je $r=0,916603$, dok je u zoni ispod ANP-a nešto niži i iznosi $r=0,788330$. Povezanost nagiba krivulje efikasnosti disanja sa frekvencijom disanja i dišnim volumenom pokazuje sasvim drugačije vrijednosti. Dok je povezanost FD s efikasnošću disanja u zoni iznad ANP-a $r=0,79$, kada je riječ o povezanosti s DV ona nije statistički značajna u istoj zoni. To može ukazivati na veliku varijabilnost kretanja DV u zoni iznad anaerobnog praga, što je prema dostupnoj literaturi i vidljivo, što za posljedicu ima oslanjanje na frekvenciju disanja koja kako je posredno vidljivo dominantnije u odnosu na DV utječe na regulaciju dišne ventilacije u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga, a posljedično i na efikasnost, odnosno neefikasnost disanja. Sam cilj disanja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga trebao bi biti usmjeren prema težnji za smanjenjem frekvencije disanja i povećanjem dišnog volumena, odnosno, kontrolom što postepenijeg rasta frekvencije disanja kako se test primiče kraju. Posljedično, dolazilo bi do povećanja dišne ventilacije putem većeg povećanja dišnog volumena, gdje bi se na svjesnom nivou nakon anaerobnog praga, učenjem i pod sredstvom neuroplastičnih karakteristika mozga, kontroliralo dišni volumen, a time utjecalo i na efikasnost samog disanja. S obzirom da trenažni proces koji nije usmjeren na razvoj dišne muskulature, mrtvog prostora, ili osjetljivosti perifernih kemoreceptora, kako je pokazano

(Salaz-Martinez i sur.,2016) ne utječe na efikasnost disanja, potrebno je, kako bi se ona povećala u zoni iznad anaerobnog praga, utjecati na učenje nove tehnike disanja, ili na vježbanje inspiratorne muskulature. Moguće je zaključiti da je upravo platoiziranje dišnog volumena i nemogućnost njegova povećavanja, bilo neznanjem ili mehaničkim ograničenjima, razlog neefikasnijeg disanja u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga u odnosu na zonu intenziteta ispod. Potrebno je napomenuti da tehnika disanja i odnosi komponenti ventilacije tijekom progresivnih testova nisu uniformni, već su vrlo varijabilni (Carey i sur., 2008) i ovise o vrsti aktivnosti (trčanje, vožnja bicikla), brzini izvođenja aktivnosti, pri čemu vrlo često tehnika disanja počinje pratiti ritam izvođenja vježbe, za što, najvjerojatnije ima utjecaj „lokomotorno-respiracijska sprega“ (Lunt i sur. 2011; Sheel i Romer, 2012).

5.2. Analiza i relacije subjektivne percepcije opterećenja

Tradicionalno, intenzitet aktivnosti u različitim istraživanjima definiran je analizom fizioloških pokazatelja (frekvencija srca, primitak kisika, maksimalna frekvencija srca, maksimalni primitak kisika). Ono što je potrebno naglasiti je da ti pokazatelji ne mogu biti identificirani ukoliko se ne posjeduje određena, financijski skupa tehnologija za tu namjenu te stručnjaci koji će znati navedene rezultate interpretirati (Hongli Yu i sur.,2021). Subjektivna percepcija opterećenja najčešće je mjerena putem Borgove skale. U medicini je opsežno korištena unatrag 40 godina te se i dan danas još uvijek naširoko koristi. Fiziolozi i liječnici koriste tu skalu kako bi bili u interakciji sa pacijentima tijekom testiranja, ali i kako bi ispitanici mogli neposredno izraziti razinu subjektivne percepcije. Osjećaj opterećenja je definiran kao razina intenziteta koji pojedinac osjeća tijekom tjelesne aktivnosti a koji je baziran na temelju fizičke senzacije, uključujući povišenu frekvenciju srca, povišenu frekvenciju disanja, povećano znojenje i mišićni umor. Pojedinci posjeduju urođenu sposobnost za detekciju količine napora tijekom tjelesne aktivnosti (Lamb i sur., 2017). Subjektivna percepcija opterećenja uključuje intrinzičnu recipročnu interakciju između aferentne povratne veze iz kardiorespiratornih, metaboličkih i termalnih podražaja i feedforward mehanizma koji pojedincu omogućuje procjenu osjećaja koliko je u određeno vrijeme određeni zadatak težak (Eston i Partfitt, 2018). Primjena SPO u sportu i vježbanju temelji se na snažnoj vezi između pokazatelja intenziteta vježbe (rad, brzina, snaga) i fizioloških varijabli (frekvencija srca, ventilacija, primitak kisika, krvni laktati) (Eston i Partfitt, 2018). Kod odraslih, SPO predstavlja značajnu praktičnu primjenu, pri čemu nerazdvojiva povezanost između SPO i fizioloških

varijabli (primjerice VO_2), omogućuje procjenu vremena do iscrpljenja (Garcin i sur., 1999). Dodatno, individualna veza između SPO i VO_2 kod submaksimalnih aktivnosti može se ekstrapolirati i predvidjeti maksimalni primitak kisika. Najčešće, kroz istraživačke radove, vrijednosti subjektivne percepcije opterećenja korištene su za: 1. ocjenu razine umora tijekom aktivnosti; 2. kao sredstvo usmjeravanja pojedinca u održavanju odgovarajućeg submaksimalnog intenziteta tijekom trenažnog protokola; 3. kao kriterij za prekid vježbanja s ciljem potencijalnog stvaranja iste razine zamora kod svih ispitanika. Većina istraživanja primjenjuje vrijednosti SPO za procjenu razine umora tijekom aktivnosti (Donguk i Bilodeau, 2021).

Opće je poznato da percipirani umor igra ključnu ulogu u reguliranju intenziteta opterećenja tijekom aktivnosti sa samostalno definiranim tempom, iako su razvijani različiti modeli kojima se nastojalo objasniti kako mozak regulira tempo tijekom aktivnosti (De Koning i sur., 2011.; Marcora, 2010.; Tucker, 2009.). Kako u protokolima do iscrpljenja, tako i u protokolima na kronometar, subjektivna percepcija opterećenja raste gotovo linearno tijekom aktivnosti, pri čemu doseže maksimalne vrijednosti na kraju vježbe i pokazuje manje izraženu stopu rasta pri apsolutnom povećanju trajanja aktivnosti (Eston, 2012). Ovo progresivno povećanje subjektivne percepcije opterećenja tijekom vježbanja predstavlja glavnu značajku umora (Enoka i Stuart, 1992.; Noakes, 2004.). Zanimljivost pričinjava činjenica da je uočeno da subjektivna percepcija opterećenja pokazuje skalarna svojstva, primjerice kod ponavljanja aktivnosti unutar jednog protokola koje se razlikuju u trajanju, te da su slične vrijednosti subjektivne percepcije opterećenja uočene kada je SPO određen u odnosu na relativno trajanje aktivnosti (Eston, 2012. Faulkner, Parfitt i Eston, 2008.; Joseph i sur., 2008.).

Rezultati ovog istraživanja pokazuju izrazito visoku povezanost subjektivne percepcije opterećenja sa ventilacijskim parametrima u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga, pri čemu je potrebno naglasiti da je najmanja uočena povezanost sa dišnim volumenom i frekvencijom disanja i iznosi $r=0,98$. Kada je riječ o zoni intenziteta iznad anaerobnog praga korelacija je nešto drugačija. Zanimljivo je da korelacija sa dišnim volumenom pada i iznosi $r=0,91$, dok je korelacija sa frekvencijom disanja porasla i sada iznosi maksimalnih $r=1,00$. Korelacije sa ostalim metaboličkim i ventilacijskim parametrima nisu vidljivo različite i kreću se u intervalu od $r=0,98$ do $r=1,00$, ili $r=-0,99$ (Tablica 15). Nicolo i sur. (2014) objavljuju da je frekvencija disanja, no ne i neke druge fiziološke varijable, snažno povezana sa subjektivnom percepcijom opterećenja tijekom aktivnosti maksimalnog intenziteta sa samostalno definiranim tempom, bez obzira radi li se o protokolu diskontinuiranog ili kontinuiranog karaktera. Vidljivo je da rezultati

ovog istraživačkog projekta potvrđuju rezultate ranije spomenutih autora, pri čemu je potrebno napomenuti da se kod Nicolola i sur. (2014), skoro potpuna povezanost FD i SPO-a kreće u rasponu, ovisno o protokolu, od $r=0,91$ do $r=0,93$, dok je kod nas ta povezanost još i veća. U navedenom istraživanju mjeren je i dišni volumen no nije napravljena povezanost subjektivne percepcije opterećenja sa navedenim parametrom. No, isti autor navodi da je samo frekvencija disanja snažno povezana sa subjektivnom percepcijom opterećenja. U ovom projektu rezultati ukazuju da su sve analizirane metaboličke i ventilacijske varijable snažno povezane sa subjektivnom percepcijom opterećenja, i da je ta povezanost relativno stabilna bez obzira radi li se o zoni intenziteta ispod ili iznad anaerobnog praga. No, ono što je, čini se bitno za napomenuti, je to da kada je riječ o povezanosti SPO-a sa DV ta stabilnost nije tako izražena. Iako je povezanost još uvijek velika, u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga, ona pada sa $r=0,98$ koliko je iznosila u zoni intenziteta ispod ANP-a, na $r=0,91$. U radu iz 2015. Nicolo i sur. sugeriraju da samo frekvencija disanja ima konzistentnu visoku korelaciju sa SPO neovisno o trajanju aktivnosti, pri čemu prosječna vrijednost korelacije iznosi $r=0,89$. Kada je riječ o drugim parametrima kao što je primjerice VE, korelacija pada u prosjeku na $r=0,80$. Dobiveni rezultati su nešto niži od rezultata ovog projekta, u kojem je primjerice vrijednost koeficijenta korelacije VE i SPO-a u zoni intenziteta ispod ANP-a $r=1,00$ a u zoni intenziteta iznad ANP-a $r=0,99$. Isto tako, vidljivo je da u istom istraživanju od Nicolola i sur. (2015) dišni volumen pada ovisno o trajanju aktivnosti, no isto tako je vidljivo da vrijednosti DV opadaju i unutar istog trajanja aktivnosti. U našem slučaju to opadanje u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga nakon intenziteta od $90\%VCO_{2max}$ nije statistički značajno, što ukazuje na jedno kontinuiranu kinematiku dišnog volumena. Razlike koje su nastale, mogle su biti produkt različitih protokola, kontinuirani sa točno određenim trajanjem u odnosu na progresivni test do otkaza, nadalje, razlike mogu biti s obzirom na način odvijanja eksperimenta (bicikloergometar u odnosu na pokretni sag) te razlike mogu biti u samom kvalitativnom rangu ispitanika. Bez obzira što kod istraživanja Nicolola i sur. (2018) dolazi do male disocijacije krivulja frekvencije disanja i dišnog volumena na nižim intenzitetima, u ovom istraživanju vidljivo je da takav fenomen nije uočen. Štoviše u zoni intenziteta i ispod i iznad anaerobnog praga krivulje trenda frekvencije disanja i SPO slijede jedna drugu (Grafikon 27). Povezanost metaboličkih faktora i subjektivne percepcije opterećenja također je izrazito snažna neovisno o zoni intenziteta u kojoj se sportaš nalazi.

Vrlo je teško izolirati utjecaj određenog mehanizma s obzirom na kompleksnost regulacijskog mehanizma ili mehanizama pa samim time i istražiti iste, no moguće je da osim

ovog razloga različiti rezultati dobiveni ovim istraživanjem ali i drugim istraživanjima mogu ukazivati na multisistemsku regulacijsku pozadinu. U ovom istraživanju različitost rezultata se odnosi na vrlo visoke i snažne korelacije konativnih, metaboličkih i ventilacijskih parametara koje mogu ukazivati upravo suprotno od uvriježenog mišljenja o postojanju različitih mehanizama za pojedine fenomene. Moguće je da postoji upravo multisistemski odgovor organizma na uvjete u kojima se nađe, a da je aktivacija svakog pojedinog segmenta smislen i biološki određen slijed kako se akcije aktivacije mehanizama po principu „paljenja i gašenja“ moraju realizirati kako bi organizam mogao optimalno u datom trenutku funkcionirati. Na tragu ovakvog mogućeg načina djelovanja organizma još davne 1963. predložio je Dejours (1963) multimehanicističku teoriju na koju su se kasnije nadovezali i Flanley i Warren (1983) sa svojom sumacijskom teorijom različitih stimulusa na respiracijske centre.

5.2. Utjecaj sportske specijaliziranosti na ventilacijski i metabolički odgovor organizma

Različite trkačke discipline zahtijevaju specifične fiziološke karakteristike koje su u direktnoj sprezi sa dužinom trkačke discipline. Energetski zahtjevi kod atletičara sprinterskih disciplina su sasvim drugačiji od energetskih zahtjeva atletičara koji se natječu u aktivnostima dužeg trajanja koje se dominantno oslanjaju na aerobne energetske izvore. Sam režim treninga sportaša „anaerobnih“ trkačkih disciplina značajno se razlikuje od tehnologije treninga sportaša „aerobnih“ trkačkih disciplina, pri čemu dolazi do aktivacije drugačijih energetskih mehanizama. Razlog tome je vrlo jednostavan a oslanja se na doprinos različitih izvora energije, gdje su u sprinterskim disciplinama CP i ATP osnovni izvori energije, dok je u disciplinama srednjih i dugih pruga doprema kisika sasvim dovoljna za oksidaciju izvora i ugljikohidrata i masti, oslobađajući veliku količinu energije uz produkciju minimalne količine mliječne kiseline (Vučetić, 2007). Trenažni proces sportaša „aerobnih“ i „anaerobnih“ trkačkih disciplina uvjetuje određene adaptacijske promjene koje se razlikuju s obzirom na trenažni sustav. Temeljem toga postavlja se pitanje da li sportaši s obzirom na sportsku specijaliziranost mijenjaju tehniku disanja, odnosno da li se disanje kod sportaša „aerobnih“ i „anaerobnih“ trkačkih disciplina razlikuje. Ovim pitanjem bavi se četvrti cilj ovog projekta, sa usmjerenošću na analizu razlika ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja s obzirom na sport-specijaliziranost. Razlike u metaboličkim parametrima s obzirom na sport-specifičnost gotovo pa da i nema kada se analiziraju ovdje primijenjene

varijable (Tablica 17). Razlika je vidljiva samo u primitku kisika što je sasvim očekivano s obzirom na to da primitak kisika predstavlja opće prihvaćenu mjeru aerobnog kapaciteta odnosno aerobne izdržljivosti, a poznato je da trkači „aerobnih“ trkačkih disciplina imaju viši primitak kisika od trkača sprintera. Nadalje, moguće je vidjeti iz rezultata da ventilacijski odgovor organizma nije tako uniforman kao kod metaboličkih pokazatelja. Naime, i dišna ventilacija, i frekvencija disanja razlikuju se s obzirom na navedeni kriterij. Razlika nije samo u generalnom pristupu, razlika je vidljiva kada se analiziraju i zone intenziteta (Tablica 16). Frekvencija disanja se značajno razlikuje u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga kod sportaša „aerobnih“ trkačkih disciplina u odnosu na sportaše „anaerobnih“ trkačkih disciplina. Ono što je potrebno napomenuti je da u obje zone sportaši „aerobnih“ disciplina imaju statistički značajno više vrijednosti frekvencije disanja u odnosu na sportaše „anaerobnih“ disciplina. Razlog može biti u jednom drugom rezultatu, a to je nepostojanje razlike u dišnom volumenu, što s jedne strane može značiti da su sportaši dosegili gornje granice dišnog volumena ili nisu učili kako doći do gornje granice mehaničkog ograničenja. S obzirom da nema razlike u dišnom volumenu, a da je nužno povećanje ventilacije s obzirom na povećanje intenziteta, sportaši aerobnih disciplina moraju puno dulje izvoditi oksidacijske procese u odnosu na sprintere koji na jednoj utrci na 100 metara imaju otprilike 3 udaha, pri čemu se energija potrebna za rad dobiva iz anaerobnih energetske izvora. Osim većeg broja udaha, sportaši „aerobnih“ disciplina imaju i manju toleranciju na stvaranje CO₂, što rezultira većom potrebom za otklanjanjem istog, a što se događa povećanjem ventilacije na račun većeg povećanja frekvencije disanja. Samim time, se i ventilacija ali i frekvencija disanja, za koju smatram da je kod ovog istraživanja sastavnica na temelju koje se povećava dišna ventilacija, značajno razlikuje kod „aerobnih“ sportaša u odnosu na „anaerobne“ sportaše, i to, i u zoni ispod anaerobnog praga i u zoni iznad anaerobnog praga. Samim time, moguće je reći da sportaši različitih trkačkih specijalnosti različito dišu, no generalan trend je isti, samo su vrijednosti ventilacijskih parametara sportaša „aerobnih“ disciplina više u odnosu na sportaše „anaerobnih“ disciplina. Trend kretanja parametara je sličan, samo se kod „anaerobnih“ sportaša događa isti trend na nižim vrijednostima, a to prvenstveno, čini se, ovisi u primitku kisika kojeg sportaši unose.

Zanimljivo je da razlike u ostalim metaboličkim parametrima nema, što opet može ukazivati da i jedna i druga grupa sportaša optimalno u odnosu na vlastiti organizam i način iskorištenja energetske kapaciteta, koriste unesenu koncentraciju kisika. Što znači, da organizam s obzirom na potrebu, genetsko naslijeđe, okolinu u kojoj se razvija i neuroplastičnost odabire optimalan način iskorištenja energije, pri čemu je vidljivo da

metabolički produkti analizirani u ovom istraživanju nisu ukazivali na disperzivnost tih parametara u analizirane dvije skupine ispitanika. No, iako nije vidljiva razlika subjektivne percepcije opterećenja kod „aerobnih“ i „anaerobnih“ sportaša u zoni intenziteta ispod ANP-a i generalno gledajući, vidljiva je značajna razlika u zoni intenziteta iznad anaerobnog praga. Pri tome je potrebno navesti da sportaši „aerobne“ grupe imaju značajnu višu vrijednost od „anaerobne“ grupe. To ne treba čuditi s obzirom da sportaši anaerobne grupe češće od druge grupe izvode trenažne procese u anaerobnom načinu rada, samim time imaju veću toleranciju na laktate a posljedično imaju i niži osjećaj opterećenja, s obzirom da organizam provodeći u takvim uvjetima „uči“ kako lakše prevladati takve uvjete.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ove doktorske disertacije bio je višestruki. Definiralo se četiri osnovna cilja i jedan eksplorativni cilj. Osnovne ciljeve možemo podijeliti u dvije grupe. Prva grupa ciljeva bila je usmjerena na analizu razlike trenda ventilacijskih (DV, FD, VE) i metaboličkih (VCO_2 , FeO_2 i $FeCO_2$, VE/VCO_2) parametara te subjektivne percepcije opterećenja (SPO) u zoni intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga. Druga grupa ciljeva analizirala je razlike u povezanosti ventilacijskih, metaboličkih i konativnih parametara u zoni intenziteta ispod i iznad anaerobnog praga. Nadalje, eksplorativni cilj se odnosio na analizu razlika ventilacijskih i metaboličkih parametara te subjektivne percepcije opterećenja kod atletičara trkača s dominantnim udjelom aerobnog odnosno anaerobnog energetskog metabolizma. S obzirom da disanje predstavlja izuzetno kompleksan sustav različitih mehanizama, analiza različitih komponenti istog, iznimno je važna s aspekta definiranja mehanizma/mehanizama odgovornih za reakciju organizma na određenu situaciju endogenog ili egzogenog karaktera.

Ne postoji izričito definiran redoslijed aktivacije ili deaktivacije mehanizama regulacije disanja. Razlog nepostojanja takvog fenomena može se naći u kompleksnosti glavnih i pozadinskih mehanizama koji utječu na regulaciju disanja. Interpretacija različitih rezultata istraživanja određene autore dovela je do mehanizama koji su odgovorni za aktivaciju određenih segmenata dišnog sustava, a za koje se smatralo da su pod utjecajem drugih pozadinskih mehanizama, primjerice s obzirom na povezanost ventilacijskih, metaboličkih i konativnih varijabli, Nicolo i sur. u nizu istraživanja na ovu temu, ustvrdili su da postoji veza između frekvencije disanja i konativnih osobina i dišnog volumena i metaboličkih faktora, naglašavajući na taj način regulacijsku različitost koja utječe na dišnu ventilaciju utjecajem na određene komponente iste. Iako je koncept vrlo zanimljiv, potrebno je navesti da je vrlo teško ukloniti metaboličke faktore kao što je acidoza na povećanje ventilacije u primjerice zoni intenziteta iznad anaerobnog praga samom činjenicom da je veća povezanost frekvencije disanja i subjektivne percepcije opterećenja od dišnog volumena. Nadalje, rezultati ovog istraživanja pokazuju izrazito visoke korelacije ventilacijskih i metaboličkih parametara ali i subjektivne percepcije opterećenja neovisno o zoni intenziteta. Samim time, ovakvi podaci o određenoj mjeri konfrontiraju rezultatima ranije spomenutog istraživanja. Ono što je zanimljivo jest da povezanost dišnog volumena i SPO u zoni intenziteta iznad ANP-a pada u odnosu na zonu ispod dok povezanost FD i SPO raste na maksimalnu povezanost kada se uzmu isti

kriteriji. Postoji nekoliko mogućih razloga pojave ovakvog fenomena. Jedan od razloga jesu mehanička svojstva respiratornog sustava koja mogu biti ograničavajući faktor u povećanju dubine disanja, drugi mogući razlog je nepoznavanje načina svjesnog povećanja dubine disanja odnosno učenja tehnike dubokog disanja i prilagođavanja takvog naučenog znanja različitim trenažnim uvjetima. Treći mogući razlog je postojanje različitih mehanizama koji reguliraju dišnu ventilaciju u zonama intenziteta iznad anaerobnog praga. Potrebno je naglasiti, da, iako dolazi do pada povezanosti DV i SPO, ona je još uvijek izrazito visoka i značajno viša od iste povezanosti kod drugih istraživača. Krivulje trenda ventilacijskih i metaboličkih parametara te SPO u zoni nakon ANP-a ukazuju na postojanje ekstremnih uvjeta po organizam koji narušavaju homeostazu, što dovodi do adaptacijske reakcije u vidu naglog porasta parametara kako bi se u što je moguće kraćem vremenskom periodu opet stvorili, po organizam, homeostatski uvjeti. Hipoteza o postojanju različite povezanosti samo je djelomično potvrđena, no potrebno je istaknuti da je vidljiv trend porasta ionako visokih koeficijenata korelacije u zoni intenziteta ispod anaerobnog praga u može se reći skoro maksimalne vrijednosti u zoni iznad ANP-a. Ovakav trend vidljiv je u svim metaboličkim parametrima, no kod ventilacijskih parametara, rezultati su malo drugačiji, i kako je već ranije spomenuto, ukazuju na pad povezanosti DV i SPO u zoni intenziteta iznad ANP-a.

Eksplorativnim ciljem nastojalo se analizirati ventilacijske i metaboličke parametre te SPO s obzirom na sportsku specijaliziranost sportaša, odnosno na dominantnost energetskog metabolizma u njihovoj specijalizaciji. Tu su rezultati pokazali da, osim u VO_2 , nema razlike u ostalim metaboličkim parametrima. U analizi ventilacijskih parametara ne postoji tako jasna jednakost. Odnosno do razlike dolazi kada je riječ o dišnoj ventilaciji ali i frekvenciji disanja, no zanimljivo, razlike nema u frekvenciji disanja. Što može ukazivati da obje skupine sportaša nemaju znanja o naprednijoj tehnici disanja, imaju ista mehanička ograničenja, ili kod obje skupine postoji pozadinski mehanizam koji reagira na isti način kod svih analiziranih sportaša neovisno o sportskoj specijalizaciji. S druge strane razlika u dišnoj ventilaciji i frekvenciji disanja postoji, što može značiti da je frekvencija disanja komponenta koja utječe na distinkciju ovako definiranih skupina ispitanika. Nadalje, analizirajući i subjektivnu percepciju opterećenja, koja ukazuje na razlike u zoni iznad anaerobnog praga, možda je moguće međusobno povezati sve ove komponente i ustvrditi da tehnologija i metodologija treninga koju primjenjuju sportaši utječe na ventilacijske parametre, posebice na način da se subjektivnom percepcijom opterećenja, podsvjesno, korigira dišna ventilacija putem korigiranja (povećanja) frekvencije disanja, s obzirom na mogućnost postojanja mehaničkih ograničenja ili

mogućnošću da ne postoji usvojeno (učenjem stečeno) znanje o povećanju dubine disanja u određenim uvjetima trenažnog rada.

S obzirom na dobivene rezultate moguće je da postoje različiti mehanizmi koji upravljaju ili generiraju različite funkcije tijela. Isto tako naravno da ti mehanizmi možda mogu i kompenzirati nedostatak onog drugog, no također je moguće i postojanje jednog „super mehanizma“, koji je odgovoran za funkcioniranje cijelog fiziološkog organizma. Ukoliko bi to bilo tako, analitičko proučavanje mehanizama na način da se proučava mehanizam po mehanizam, dovelo bi, i dovodi do nekonzistentnih rezultata s obzirom da je vrlo teško istovremeno analizirati sve moguće mehanizme koji reguliraju disanje ili se smatra da bi mogli regulirati. Samim time dolazi do entropije gdje interpretacija određenih mehanizama dovodi do pogrešnih zaključaka s obzirom na nemogućnost kontrole, a samim time i interpretacije drugih mehanizama, s obzirom da jedan sustav samostalno ne može generirati promjene potrebne za funkcioniranje cjelokupnog organizma. Isto tako, nemoguće je analitički proučavati neurološku pozadinu ventilacijskog odgovora na različite uvjete, kada su mnoga istraživanja ukazala da različiti stimulusi generiraju različite odgovore neurološkog sustava, a koji opet rezultiraju jednakom ekspresijom u vidu povećanja ventilacije. To može ukazivati da organizam, analizirajući cjelokupnu situaciju, u djeliću vremenske sastavnice, odlučuje na koji će način izvesti radnju po principu najmanjeg utroška energije s ciljem optimalnog funkcioniranja u određenim uvjetima.

7. LITERATURA

- ❖ Ahlborg, G. i Felig, P. (1982). Lactate and glucose exchange across the forearm, legs, and splanchnic bed during and after prolonged leg exercise. *The Journal of clinical investigation*, 69(1), 45 – 54.
- ❖ Alghaith, J.M., Balanos, G.M., Eves, F.F. i White, M.J. (2019). Sensitivity of the human ventilatory response to muscle metaboreflex activation during concurrent mild hypercapnia. *Experimental Physiology*, 104, 359 – 367.
- ❖ Amann, M., Eldridge, M.W., Lovering, A.T., Stickland, M.K., Pegelow, D.F. i Dempsey, J.A. (2006). Arterial oxygenation influences central motor output and exercise performance via effects on peripheral locomotor muscle fatigue in humans. *The Journal of physiology*. 575(Pt 3), 937–952.

- ❖ Arney, B.E., Glover, R., Fusco, A., Cortis, C., de Koning, J.J., van Erp, T., Jaime, S., Mikat, R.P., Porcari, J.P. i Foster, C. (2019). Comparison of RPE (Rating of Perceived Exertion) Scales for Session RPE. *International journal of sports physiology and performance*, 14(7), 994 – 996.
- ❖ Asmussen, E. i Nielsen, M. (1957). Ventilatory response to CO₂ during work at normal and at low oxygen tensions. *Acta Physiologica Scandinavica*, 39, 27 – 35.
- ❖ Asmussen, E., i Nielsen, M. (1957). Ventilatory response to CO₂ during work at normal and at low oxygen tensions. *Acta physiologica Scandinavica*, 39(1), 27 – 35.
- ❖ Astorino, T.A., Robergs, R.A., Ghiasvand, F., Marks, D. i Burns, S. (2000) Incidence of the oxygen plateau at VO₂max during exercise testing to volitional fatigue. *Journal of Exercise Physiology Online*. 3(4), pp. 1 – 12.
- ❖ Babb, T.G., Wood, H.E. i Mitchell, G.S. (2010). Short- and long-term modulation of the exercise ventilatory response. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(9), 1681 – 1687.
- ❖ Babcock, M.A., Pegelow, D.F., McClaran, S.R., Suman, O.E. i Dempsey, J.A. (1995). Contribution of diaphragmatic power output to exercise-induced diaphragm fatigue. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*. 78(5), 1710 – 1719.
- ❖ Babcock, M.A., Pegelow, D.F., Harms, C.A. i Dempsey, J.A. (2002). Effects of respiratory muscle unloading on exercise-induced diaphragm fatigue. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*. 93(1), 201 – 206.
- ❖ Band, D.M., Wolff, C.B., Ward, J., Cochrane, G.M. i Prior, J. (1980). Respiratory oscillations in arterial carbon dioxide tension as a control signal in exercise. *Nature*, 283, 84 – 85.
- ❖ Barna, B.F., Takakura, A.C. i Moreira, T.S. (2012). Pontomedullary and hypothalamic distribution of Fos-like immunoreactive neurons after acute exercise in rats. *Neuroscience*, 212, 120 – 130.
- ❖ Bassett, D.R., Jr i 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.
- ❖ Bell, H.J. i Duffin, J. (2004). Respiratory response to passive limb movement is suppressed by a cognitive task. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 97(6), 2112 – 2120.
- ❖ Bell, H.J. i Duffin, J. (2006). Rapid increases in ventilation accompany the transition from passive to active movement. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 152(2), 128 – 142.

- ❖ Bell, H.J. i Duffin, J. (2006). Rapid increases in ventilation accompany the transition from passive to active movement. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 152, 128 – 142.
- ❖ Bell, H.J., Feenstra, W. i Duffin, J. (2005). The initial phase of exercise hyperpnoea in humans is depressed during a cognitive task. *Experimental physiology*, 90(3), 357 – 365.
- ❖ Berchicci, M., Menotti, F., Macaluso, A. i DiRusso, F. (2013). The neurophysiology of central and peripheral fatigue during sub-maximal lower limb isometric contractions. *Frontiers In Human Neuroscience*, 7, 135.
- ❖ Bernardi, L., Schneider, A., Pomidori, L., Paolucci, E. i Cogo, A. (2006). Hypoxic ventilatory response in successful extreme altitude climbers. *The European respiratory journal*, 27(1), 165 – 171.
- ❖ Borg, G. (1973). Perceived exertion: A note on history and methods. *Medicine and Science in Sports*, 5, 90 – 93.
- ❖ Boutellier, U., Büchel, R., Kundert, A., i Spengler, C. (1992). The respiratory system as an exercise limiting factor in normal trained subjects. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 65(4), 347 – 353.
- ❖ Braun, S.R. (1990). Respiratory Rate and Pattern. In H.K. Walker (Eds.) et. al., *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations*. (3rd ed.). Butterworths.
- ❖ Broman, S. i Wigertz, O. (1971) Transient dynamics of ventilation and heart rate with step changes in work load from different load levels. *Acta Physiologica Scandinavica*. 81, 54 – 74.
- ❖ Brown, P.I., Sharpe, G.R. i Johnson, M.A. (2010). Loading of trained inspiratory muscles speeds lactate recovery kinetics. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(6), 1103 – 1112.
- ❖ Brown, S.J. (2010). Cardio-respiratory system efficiency in trained endurance cyclists. *Medicina Sportiva*, 14 (4), 176 – 181.
- ❖ Brown, P.I., Sharpe, G.R. i Johnson, M.A. (2012). Inspiratory muscle training abolishes the blood lactate increase associated with volitional hyperpnoea superimposed on exercise and accelerates lactate and oxygen uptake kinetics at the onset of exercise. *European journal of applied physiology*. 112(6), 2117 – 2129.
- ❖ Brown, S.J., Raman, A., Schlader, Z. i Stannard, S.R. (2013). Ventilatory efficiency in juvenile elite cyclists. *Journal of science and medicine in sport*, 16(3), 266 – 270.
- ❖ Bruce, R.M. i White, M.J. (2012). Muscle afferent activation causes ventilatory and cardiovascular responses during concurrent hypercapnia in humans. *Experimental Physiology*, 97, 208 – 218.

- ❖ Bruce, R.M., Jolley, C. i White, M.J. (2019). Control of exercise hyperpnoea: Contributions from thin-fibre skeletal muscle afferents. *Experimental physiology*, 104(11), 1605 – 1621.
- ❖ Busch, V., Magerl, W., Kern, U., Haas, J., Hajak, G. i Eichhammer, P. (2012). The effect of deep and slow breathing on pain perception, autonomic activity, and mood processing--an experimental study. *Pain medicine (Malden, Mass.)*, 13(2), 215 – 228.
- ❖ Bussotti, M., Magrì, D., Previtali, E., Farina, S., Torri, A., Matturri, M. i Agostoni, P. (2008). End-tidal pressure of CO₂ and exercise performance in healthy subjects. *European journal of applied physiology*, 103(6), 727 – 732.
- ❖ Cairns, S.P. i Lindinger, M.I. (2008). Do multiple ionic interactions contribute to skeletal muscle fatigue? *Journal of Physiology*, 58617, 4039 – 4054.
- ❖ Carey, D., Pliego, G., Raymond, R. (2008). How endurance athletes breathe during incremental exercise to fatigue: interaction of tidal volume and frequency. *The Journal of Exercise Physiologyonline*, 11, 44 – 52.
- ❖ Carey, D.G., Schwarz, L.A., Pliego, G.J. i Raymond, R.L. (2005). Respiratory rate is a valid and reliable marker for the anaerobic threshold: implications for measuring change in fitness. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4, 482 – 488.
- ❖ Casey, K., Duffin, J. i McAvoy, G.V. (1987). The effect of exercise on the central-chemoreceptor threshold in man. *The Journal of Physiology*, 383, 9 – 18.
- ❖ Chambers, C.T., Taddio, A., Uman, L.S., McMurtry, C.M. i HELPinKIDS Team (2009). Psychological interventions for reducing pain and distress during routine childhood immunizations: a systematic review. *Clinical therapeutics*, 31 Suppl 2, 77 – 103.
- ❖ Chapman, R.F., Emery, M. i Stager, J.M. (1998). Extent of expiratory flow limitation influences the increase in maximal exercise ventilation in hypoxia. *Respiration physiology*, 113(1), 65 – 74.
- ❖ Chapman, R.F., Emery, M. i Stager, J.M. (1999). Degree of arterial desaturation in normoxia influences VO₂max decline in mild hypoxia. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(5), 658 – 663.
- ❖ Chin, L.M., Leigh, R.J., Heigenhauser, G.J., Rossiter, H.B., Paterson, D.H. i Kowalchuk, J.M. (2007). Hyperventilation-induced hypocapnic alkalosis slows the adaptation of pulmonary O₂ uptake during the transition to moderate-intensity exercise. *Journal of Physiology*, 583, 351 – 364.
- ❖ Chin, L.M.K., Heigenhauser, G.J.F., Paterson, D.H. i Kowalchuk, J.M. (2010). Effect of hyperventilation and prior heavy exercise on O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics

- during transitions to moderate exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 108, 913 – 925.
- ❖ Clancy, L.J., Critchley, J.A., Leitch, A.G., Kirby, B.J., Ungar, A. i Flenley, D.C. (1975). Arterial catecholamines in hypoxic exercise in man. *Clinical science and molecular medicine*, 49(5), 503 – 506.
 - ❖ Clark, J.M., Hagerman, F.C. i Gelfand, R. (1983). Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 55(2), 440 – 446.
 - ❖ Cochrane, K.C., Housh, T.J., Bergstrom, H.C., Jenkins, N.D., Johnson, G., Schmidt, R.J. i Cramer, J.T. (2015). Physiological Responses during Cycle Ergometry at a Constant Perception of Effort. *International journal of sports medicine*, 36(6), 466 – 473.
 - ❖ Colebatch, J.G., Adams, L., Murphy, K., Martin, A.J., Lammertsma, A.A., Tochon-Danguy, H.J., Clark, J.C., Friston, K.J. i Guz, A. (1991). Regional cerebral blood flow during volitional breathing in man. *The Journal of physiology*, 443, 91 – 103.
 - ❖ Cross, B.A., Davey, A., Guz, A., Katona, P.G., MacLean, M., Murphy, K., Semple, S.J. i Stidwill, R. (1982). The pH oscillations in arterial blood during exercise; a potential signal for the ventilatory response in the dog. *The Journal of Physiology*, 329, 57 – 73.
 - ❖ Cumming, G.R. i Friesen, W. (1967). Bicycle ergometer measurement of maximal oxygen uptake in children. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 45(6), 937 – 946.
 - ❖ Cumming, A.R.C., Alison, J., Jacobi, M.S., Iyawe, V.I. i Saunders, K.B. (1986). Ventilatory sensitivity to inhaled carbon dioxide around the control point during exercise. *Clinical Science*, 71, 17 – 22.
 - ❖ Czuba, M., Zajac, A., Maszczyk, A., Rocznio, R., Poprzeczki, S., Garbaciak, W. i Zajac, T. (2013). The effects of high intensity interval training in normobaric hypoxia on aerobic capacity in basketball players. *Journal of human kinetics*, 39, 103 – 114.
 - ❖ Day, J.R., Rossiter, H.B., Coats, E.M., Skasick, A. i Whipp, B.J. (2003). The maximally attainable VO₂ during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 95(5), 1901 – 1907.
 - ❖ Davis, J.A., Tyminski, T.A., Soriano, A.C., Dorado, S., Costello, K.B., Sorrentino, K.M. i Pham, P.H. (2006). Exercise test mode dependency for ventilatory efficiency in women but not men. *Clinical physiology and functional imaging*, 26(2), 72 – 78.
 - ❖ Davis, J.A., Whipp, B. i Wasserman, K. (1980). The relation of ventilation to metabolic rate during moderate exercise in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 44, 97 – 108.

- ❖ De Koning, J. J., Foster, C., Bakkum, A., Kloppenburg, S., Thiel, C., Joseph, T., Cohen, J. i Porcari, J.P. (2011). Regulation of pacing strategy during athletic competition. *PloS one*, 6(1), e15863.
- ❖ De Morree, H. M., Klein, C., & Marcora, S. M. (2014). Cortical substrates of the effects of caffeine and time-on-task on perception of effort. *Journal Of Applied Physiology*, 117(12), 1514 – 1523.
- ❖ De Morree, H.M. i Marcora, S.M. (2015). Psychobiology of perceived effort during physical tasks. In G.H.E. Gendolla, M. Tops, & S.L. Koole (Eds.), *Biobehavioral approaches to self-regulation* (pp. 255 – 270). New York, NY: Springer.
- ❖ De Morree, H.M., Klein, C. i Marcora, S.M. (2012). Perception of effort reflects central motor command during movement execution. *Psychophysiology*, 49(9), 1242 – 1253.
- ❖ De Morree, H.M., Klein, C., i Marcora, S.M. (2012). Perception of effort reflects central motor command during movement execution. *Psychophysiology*, 49(9), 1242 – 1253.
- ❖ Dejours P. (1964). Control of respiration during muscular exercise. In: *Handbook of Physiology. Respiration*. Bethesda. *American Physiological Society*, 3(I), 25, 631 – 648.
- ❖ Dejours, P. (1963). The regulation of breathing during muscular exercise in man. A neuro-humoral theory. In D.J.C. Cunningham i B.B. Lloyd (Eds.), *The regulation of human respiration* (pp. 535-547). Oxford: Blackwell.
- ❖ Dejours, P., Mithoefer, J.C. i Labrousse, Y. (1957). Influence of local chemical change on ventilatory stimulus from the legs during exercise. *Journal of applied physiology*, 10(3), 372 – 375.
- ❖ Dempsey, J.A., Hanson, P.G. i Henderson, K.S. (1984). Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. *The Journal of Physiology*, 355, 161 – 175.
- ❖ Dempsey, J.A., Sheel, A.W., St Croix, C.M. i Morgan, B.J. (2002). Respiratory influences on sympathetic vasomotor outflow in humans. *Respiratory physiology & neurobiology*, 130(1), 3 – 20.
- ❖ Dempsey, J.A., Romer, L., Rodman, J., Miller, J. i Smith, C. (2006). Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respiratory physiology & neurobiology*, 151(2-3), 242 – 250.
- ❖ Dempsey, J.A., McKenzie, D.C., Haverkamp, H.C. i Eldridge, M.W. (2008). Update in the understanding of respiratory limitations to exercise performance in fit, active adults. *Chest*, 134(3), 613 – 622.

- ❖ Derchak, P.A., Stager, J.M., Tanner, D.A. i Chapman, R.F. (2000). Expiratory flow limitation confounds ventilatory response during exercise in athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(11), 1873 – 1879.
- ❖ De Troyer, A. i Wilson, T.A. (2009). Effect of acute inflation on the mechanics of the inspiratory muscles. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*. 107(1), 315 – 323.
- ❖ di Prampero, P.E. (1985). Metabolic and circulatory limitations to VO₂max at the whole animal level. *The Journal of experimental biology*, 115, 319 – 331.
- ❖ Doherty, M., Nobbs, L. i Noakes, T.D. (2003). Low frequency of the "plateau phenomenon" during maximal exercise in elite British athletes. *European journal of applied physiology*, 89(6), 619 – 623.
- ❖ Douglas, C.G. i Haldane, J.S. (1909). The regulation of normal breathing. *The Journal of Physiology*, 38, 420 – 440.
- ❖ Downey, A.E., Chenoweth, L.M., Townsend, D.K., Ranum, J.D., Ferguson, C.S. i Harms, C.A. (2007). Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in normoxia and hypoxia. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 156, 137 – 146.
- ❖ Duffin, J. i McAvoyn, G.V. (1988). The peripheral-chemoreceptor threshold to carbon dioxide in man. *The Journal of Physiology*, 406, 15 – 26.
- ❖ Duffin, J., Bechbache, R.R., Goode, R.C. i Chung, S.A. (1980). The ventilatory response to carbon dioxide in hyperoxic exercise. *Respiration Physiology*, 40, 93 – 105.
- ❖ Duffin, J., Mohan, R.M., Vasilou, P., Stephenson, R. i Mahamed, S. (2000). A model of the chemoreflex control of breathing in humans: model parameters measurement. *Respiration Physiology*, 120, 13 – 26.
- ❖ Durmic, T., Lazovic, B., Djelic, M., Lazic, J.S., Zikic, D., Zugic, V., Dekleva, M. i Mazic, S. (2015). Sport-specific influences on respiratory patterns in elite athletes. *Jornal brasileiro de pneumologia : publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia*, 41(6), 516 – 522.
- ❖ Edwards, R.H., Melcher, A., Hesser, C.M., Wigertz, O. i Ekelund, L.G. (1972). Physiological correlates of perceived exertion in continuous and intermittent exercise with the same average power output. *European journal of clinical investigation*, 2(2), 108 – 114.
- ❖ Eldridge, F.L. (1994). Central integration of mechanisms in exercise hyperpnea. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 319 – 327.
- ❖ Enoka, R.M. i Stuart, D.G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 72(5), 1631 – 1648.

- ❖ Esposito, F., Limonta, E., Alberti, G., Veicsteinas, A. i Ferretti, G. (2010). Effect of respiratory muscle training on maximum aerobic power in normoxia and hypoxia. *Respiratory physiology & neurobiology*, 170(3), 268 – 272.
- ❖ Eston, R. (2012). Use of ratings of perceived exertion in sports. *International journal of sports physiology and performance*, 7(2), 175 – 182.
- ❖ Eston, R. i Parfitt, G. (2018). Perceived exertion, heart rate and other non-invasive methods for exercise testing and intensity control. In: Eston R, Norton K, editors. *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: tests, procedures and data*. USA & Canada: Routledge.
- ❖ Faulkner, J., Parfitt, G. i Eston, R. (2008). The rating of perceived exertion during competitive running scales with time. *Psychophysiology*, 45(6), 977 – 985.
- ❖ Farb, N.A., Segal, Z.V. i Anderson, A.K. (2013). Mindfulness meditation training alters cortical representations of interoceptive attention. *Social cognitive and affective neuroscience*, 8(1), 15 – 26.
- ❖ Flandrois, R., Favier, R. i Pequignot, J.M. (1977). Role of adrenaline in gas exchanges and respiratory control in the dog at rest and exercise. *Respiration physiology*, 30(3), 291 – 303.
- ❖ Flenley D.C., Brash H., Clancy L., Cooke N.J., Leitch A.G., Middleton W. i Wraith, P.K. (1979). Ventilatory response to steady-state exercise in hypoxia in humans. *Journal of Applied Physiology*. 46, 438 – 446.
- ❖ Flenley, D.C. i Warren, P.M. (1983). Ventilatory responses to O₂ and CO₂ during exercise. *Annual review of physiology*, 45, 415 – 426.
- ❖ Forbes, S.C., Kowalchuk, J.M., Thompson, R.T. i Marsh, G.D. (2007). Effects of hyperventilation on phosphocreatine kinetics and muscle deoxygenation during moderate-intensity plantar flexion exercise. *Journal of Applied Physiology*, 102, 1565 – 1573.
- ❖ Forster, H.V., Haouzi, P. i Dempsey, J.A. (2012). Control of breathing during exercise. *Comprehensive Physiology*, 2, 743 – 777.
- ❖ Fredberg, J.J., Inouye, D., Miller, B., Nathan, M., Jafari, S., Raboudi, S.H., Butler, J.P., i Shore, S.A. (1997). Airway smooth muscle, tidal stretches, and dynamically determined contractile states. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 156(6), 1752 – 1759.
- ❖ Froelicher, V.F., Jr, Brammell, H., Davis, G., Noguera, I., Stewart, A. i Lancaster, M.C. (1974). A comparison of three maximal treadmill exercise protocols. *Journal of applied physiology*, 36(6), 720 – 725.

- ❖ Garcin, M., Vandewalle, H. i Monod, H. (1999). A new rating scale of perceived exertion based on subjective estimation of exhaustion time: a preliminary study. *International journal of sports medicine*, 20(1), 40 – 43.
- ❖ Gelfand, R. i Lambertsen, C.J. (1973). Dynamic respiratory response to abrupt change of inspired CO₂ at normal and high PO₂. *Journal of Applied Physiology*, 35, 903 – 913.
- ❖ Gilbert, C. (2005). Better chemistry through breathing: the story of carbon dioxide and how it can go wrong. *Biofeedback*, 100 – 104.
- ❖ Grimby, G., Goldman, M. i Mead, J. (1976). Respiratory muscle action inferred from rib cage and abdominal V-P partitioning. *Journal of applied physiology*, 41(5 Pt. 1), 739 – 751.
- ❖ Guyenet, P.G. i Bayliss, D.A. (2015). Neural Control of Breathing and CO₂ Homeostasis. *Neuron*, 87(5), 946 – 961.
- ❖ Guyton A.C., Hall J.E. (2002) Fiziologija čovjeka i mehanizmi bolesti, Zagreb: Medicinska naklada.
- ❖ Haldane, J.S. i Priestley, J.G. (1905). The regulation of the lung-ventilation. *The Journal of Physiology*, 32, 225 – 266.
- ❖ Hansen, J., Sander, M., Hald, C.F., Victor, R.G. i Thomas, G.D. (2000). Metabolic modulation of sympathetic vasoconstriction in human skeletal muscle: role of tissue hypoxia. *The Journal of physiology*, 527 Pt 2(Pt 2), 387 – 396.
- ❖ Hanson, P. i Dempsey, J.A. (1998). Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 85(2), 609 – 618.
- ❖ Haouzi, P. i Bell, H.J. (2009). Control of breathing and volitional respiratory rhythm in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106, 904 – 910.
- ❖ Harms, C.A., Babcock, M.A., McClaran, S.R., Pegelow, D.F., Nickele, G.A., Nelson, W.B. i Dempsey, J.A. (1997). Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 82(5), 1573 – 1583.
- ❖ Harms, C.A., Wetter, T.J., McClaran, S.R., Pegelow, D.F., Nickele, G.A., Nelson, W.B., Hanson, P. i Dempsey, J.A. (1998). Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 85(2), 609 – 618.

- ❖ Harms, C.A., Wetter, T.J., St Croix, C.M., Pegelow, D.F. i Dempsey, J.A. (2000). Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 89(1), 131 – 138.
- ❖ Harms, C.A. (2007). Insights into the role of the respiratory muscle metaboreflex. *The Journal of physiology*, 584(Pt 3), 711.
- ❖ Hayashi, N., Ishihara, M., Tanaka, A. i Yoshida, T. (1999). Impeding O₂ unloading in muscle delays oxygen uptake response to exercise onset in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 277, 1274 – 1281.
- ❖ Hebisz, P., Hebisz, R. i Zatoń, M. (2013). Changes in breathing pattern and cycling efficiency as a result of training with added respiratory dead space volume. *Human Movement*, 14(3), 247 – 253.
- ❖ Heistad, D.D., Wheeler, R.C., Mark, A.L., Schmid, P.G. i Abboud, F.M. (1972). Effects of adrenergic stimulation on ventilation in man. *Journal of Clinical Investigation*, 51, 1469 – 1475.
- ❖ Helbling, D., Boutellier, U. i Spengler, C. M. (1997). Modulation of the ventilatory increase at the onset of exercise in humans. *Respiration physiology*, 109(3), 219 – 229.
- ❖ Henke, K.G., Sharratt, M., Pegelow, D. i Dempsey, J.A. (1988). Regulation of end-expiratory lung volume during exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 64(1), 135 – 146.
- ❖ Herrero, J.L., Khuvis, S., Yeagle, E., Cerf, M. i Mehta, A.D. (2018). Breathing above the brain stem: volitional control and attentional modulation in humans. *Journal of neurophysiology*, 119(1), 145 – 159.
- ❖ Hesse, B., Kanstrup, I.L., Christensen, N.J., Ingemann-Hansen, T., Hansen, J.F., Halkjaer-Kristensen, J. i Petersen, F.B. (1981). Reduced norepinephrine response to dynamic exercise in human subjects during O₂ breathing. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 51(1), 176 – 178.
- ❖ Hill, J.M. (2000). Discharge of group IV phrenic afferent fibers increases during diaphragmatic fatigue. *Brain research*, 856(1-2), 240 – 244.
- ❖ Howley E.T. (2007).VO₂max and the plateau-needed or not?. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(1), 101 – 102.
- ❖ Illi, S.K., Held, U., Frank, I. i Spengler, C.M. (2012). Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*. 42, 707 – 24.

- ❖ James, N.W., Adams, G.M. i Wilson, A.F. (1989). Determination of anaerobic threshold by ventilatory frequency. *International Journal of Sports Medicine*, 10(3), 192 – 196.
- ❖ Jerath, R., Edry, J.W., Barnes, V.A., Jerath, V. (2006). Physiology of long pranayamic breathing: Neural, respiratory elements may provide a mechanism that explains how slow deep breathing shifts the autonomic nervous system. *Medical Hypotheses*, 67, 566 – 571.
- ❖ Jo, D. i Bilodeau, M. (2021). Rating of perceived exertion (RPE) in studies of fatigue-induced postural control alterations in healthy adults: Scoping review of quantitative evidence. *Gait & posture*, 90, 167 – 178.
- ❖ Johnson, B.D., Saupe, K.W. i Dempsey, J.A. (1992). Mechanical constraints on exercise hyperpnea. *Journal of Applied Physiology*, 73(3), 874 – 886.
- ❖ Johnson, B.D., Babcock, M.A., Suman, O.E. i Dempsey, J.A. (1993). Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *The Journal of physiology*, 460, 385 – 405.
- ❖ Johnson, M.A., Sharpe, G.R. i Brown, P.I. (2007). Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *European journal of applied physiology*, 101(6), 761 – 770.
- ❖ Jones, N.L. (2008). An obsession with CO₂. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33 (4), 641 – 650.
- ❖ Joseph, T., Johnson, B., Battista, R.A., Wright, G., Dodge, C., Porcari, J.P., de Koning, J.J. i Foster, C. (2008). Perception of fatigue during simulated competition. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(2), 381 – 386.
- ❖ *Journal Of Physiology-London*, 592(3), 433 – 444.
- ❖ Jurić, I., Labor, S., Plavec, D. i Labor, M. (2019). Inspiratory muscle strength affects anaerobic endurance in professional athletes. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 70(1), 42 – 48.
- ❖ Kapus, J., Ušaj, A., Kapus, V. i Štrumbelj B. (2009). The difference in respiratory and blood gas values during recovery after exercise with spontaneous versus reduced breathing frequency. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8 (3), 452 – 457.
- ❖ Katch, V., Weltman, A., Sady, S. i Freedson, P. (1978). Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 39(4) , 219 – 227.
- ❖ Kaufman, M.P., i Forster, H.V. (1996). “Reflexes controlling circulatory, venti-latory and airway responses to exercise,” in Section 12, Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems, eds L.B. Rowell and J.T. Shepherd (*Bethesda, MD: American Physiological Society*), 381 – 447.

- ❖ Kemmer, P.B., Guo, Y., Wang, Y. i Pagnoni, G. (2015). Network-based characterization of brain functional connectivity in Zen practitioners. *Frontiers in psychology*, 6, 603.
- ❖ Kilen, A., Larsson, T.H., Jørgensen, M., Johansen, L., Jørgensen, S. i Nordsborg, N.B. (2014). Effects of 12 weeks high-intensity & reduced-volume training in elite athletes. *PloS one*, 9(4), e95025.
- ❖ Kohl, J., Koller, E.A., Brandenberger, M., Cardenas, M., i Boutellier, U. (1997). Effect of exercise-induced hyperventilation on airway resistance and cycling endurance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75(4), 305 – 311.
- ❖ Kumar, P. i Prabhakar, N.R. (2012). Peripheral chemoreceptors: function and plasticity of the carotid body. *Comprehensive Physiology*, 2, 141 – 219.
- ❖ Lamb, K., Parfitt, G. i Eston, R. (2017). Effort perception. In: Armstrong N, Van Mechelen W, editors. *Oxford Textbook of Children's Sport and Exercise Medicine, 3rd edn. Oxford: Oxford University Press*.
- ❖ Lavolette, L. i Laveneziana, P. (2014). Dyspnoea: A multidimensional and multidisciplinary approach. *European Respiratory Journal*, 43(6), 1750 – 1762.
- ❖ Lemire, M., Lonsdorfer-Wolf, E., Isner-Horobeti, M.E., Kouassi, B., Geny, B., Favret, F. i Dufour, S.P. (2018). Cardiorespiratory Responses to Downhill Versus Uphill Running in Endurance Athletes. *Research quarterly for exercise and sport*, 89(4), 511 – 517.
- ❖ Levinson, D.B., Stoll, E L., Kindy, S.D., Merry, H.L., i Davidson, R J. (2014). A mind you can count on: validating breath counting as a behavioral measure of mindfulness. *Frontiers in psychology*, 5, 1202.
- ❖ Linnarsson, D. (1974). Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum*, 415, 1 – 68.
- ❖ Lindinger, M.I. i Heigenhauser, G.J.F. (2012). Effects of gas exchange on acid–base balance. *Comprehensive Physiology*, 2, 2203 – 2254.
- ❖ Lindinger, M.I., Heigenhauser, G.J., McKelvie, R.S., Jones, N.L. (1992). Blood ion regulation during repeated maximal exercise and recovery in humans. *American Journal of Physiology*, 262, 126 –136.
- ❖ Loeschcke, H.H. (1982). Central chemosensitivity and the reaction theory. *Journal of Physiology*, 332, 1 – 24.
- ❖ Lucía, A., Rabadán, M., Hoyos, J., Hernández-Capilla, M., Pérez, M., San Juan, A.F., Earnest, C.P. i Chicharro, J.L. (2006). Frequency of the VO₂max plateau phenomenon in world-class cyclists. *International journal of sports medicine*, 27(12), 984 – 992.
- ❖ Lumb, A. (2017). *Nunn's applied respiratory physiology* (8th ed.). London, UK: Elsevier.

- ❖ Lunt, H.C., Corbett, J., Barwood, M.J. i Tipton, M.J. (2011). Cycling cadence affects heart rate variability. *Physiological measurement*, 32(8), 1133 – 1145.
- ❖ Lykidis, C.K., Kumar, P., Vianna, L.C., White, M.J. i Balanos, G.M. (2010). A respiratory response to the activation of the muscle metaboreflex during concurrent hypercapnia in man. *Experimental Physiology*, 95, 194 – 201.
- ❖ Marcora, S. (2009). Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs. *Journal Of Applied Physiology*, 106(6), 2060 – 2062.
- ❖ Marcora, S. (2010). Counterpoint: Afferent feedback from fatigued locomotor muscles is not an important determinant of endurance exercise performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 108(2), 454 – 457.
- ❖ Martin, B.J., Sparks, K.E., Zwillich, C.W. i Weil, J.V. (1979). Low exercise ventilation in endurance athletes. *Medicine and science in sports*, 11(2), 181 – 185.
- ❖ Mateika, J.H., Mendello, C., Obeid, D. i Badr, M.S. (2004). Peripheral chemoreflex responsiveness is increased at elevated levels of carbon dioxide after episodic hypoxia in awake humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 96(3), 1197 – 1196.
- ❖ Matell, G. (1963). Time-courses of changes in ventilation and arterial gas tensions in man induced by moderate exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 58, 1 – 53.
- ❖ McArdle, W.D., Katch, F.I. i Katch, V.L. (2001). Exercise physiology: Energy, nutrition, and human performance. Philadelphia: *Lippincott Williams & Wilkins* (7th edition).
- ❖ McConnell, A.K. i Semple, E.S. (1996). Ventilatory sensitivity to carbon dioxide: The influence of exercise and athleticism. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 685 – 691.
- ❖ McConnell, A.K. i Romer, L.M. (2004). Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *International journal of sports medicine*, 25(4), 284 – 293.
- ❖ McLellan, T.M. (1987). The anaerobic threshold: concept and controversy. *Australian journal of science and medicine in sport*, 19, 3 – 8.
- ❖ Mead, J. (1963). The control of respiratory frequency. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 109, 724 – 729.
- Mezzani, A., Hamm, L.F., Jones, A.M., McBride, P.E., Moholdt, T., Stone, J.A., Urhausen, A. i Williams, M.A. (2012). Aerobic exercise intensity assessment and prescription in cardiac rehabilitation: A joint position statement of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation and the Canadian Association of Cardiac Rehabilitation. *European Journal of Preventive Cardiology*, 20(3), 442 – 467.

- ❖ Mielke, M., Housh, T.J., Malek, M.H., Beck, T.W., Schmidt, R.J. i Johnson, G.O. (2008). The development of rating of perceived exertion-based tests of physical working capacity. *Journal of strength and conditioning research*, 22(1), 293 – 302.
- ❖ Mier, C.M., Alexander, R.P. i Mageean, A.L. (2012). Achievement of VO₂max criteria during a continuous graded exercise test and a verification stage performed by college athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 26(10), 2648 – 2654.
- ❖ Milsom, W.K., Abe, A.S., Andrade, D.V., Tattersall, G.J. (2004). Evolutionary trends in airway CO₂/H⁺ chemoreception. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 144, 191 – 202.
- ❖ Morgan, W.P., Hirta, K., Weitz, G.A. i Balke, B. (1976). Hypnotic perturbation of perceived exertion: ventilatory consequences. *The American journal of clinical hypnosis*, 18(3), 182 – 190.
- ❖ Mortola J.P. (2019). How to breathe? Respiratory mechanics and breathing pattern. *Respiratory physiology & neurobiology*, 261, 48 – 54.
- ❖ Nicolò, A. , Marcora S.M., Bazzucchi I. i Sacchetti M. (2017b). Differential control of respiratory frequency and tidal volume during high-intensity interval training. *Experimental Physiology*, 102, 934 – 949.
- ❖ Nicolò, A., Bazzucchi, I., Haxhi, J., Felici, F. i Sacchetti, M. (2014). Comparing continuous and intermittent exercise: an "isoeffort" and "isotime" approach. *PloS one*, 9(4), e94990.
- ❖ Nicolò, A., Girardi, M., Bazzucchi, I., Felici, F. i Sacchetti, M. (2018). Respiratory frequency and tidal volume during exercise: differential control and unbalanced interdependence. *Physiological reports*, 6(21), e13908.
- ❖ Nicolò, A., Marcora, S.M. i Sacchetti, M. (2015). Respiratory frequency is strongly associated with perceived exertion during time trials of different duration. *Journal of sports sciences*, 34(13), 1199 – 1206.
- ❖ Nicolò, A., Marcora, S.M. i Sacchetti, M. (2016). Respiratory frequency is strongly associated with perceived exertion during time trials of different duration. *Journal of sports sciences*, 34(13), 1199 – 1206.
- ❖ Nicolò, A., Marcora, S.M., Bazzucchi, I. i Sacchetti, M. (2017). Differential control of respiratory frequency and tidal volume during high-intensity interval training. *Experimental physiology*, 102(8), 934 – 949.
- ❖ Nicolò. A., Marcora, S.M. i Sacchetti M. (2020). Last Word on Viewpoint: Time to reconsider how ventilation is regulated above the respiratory compensation point during incremental exercise. *Journal of Applied Physiology*, 1, 128(5), 1456.

- ❖ Niemeyer, M., Knaier, R. i Beneke, R. (2021). The Oxygen Uptake Plateau-A Critical Review of the Frequently Misunderstood Phenomenon. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(9), 1815 – 1834.
- ❖ Noakes, T.D. (2004). Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 96(4), 1571 – 1573.
- ❖ Noakes, T.D. (2008). How did A V Hill understand the $\dot{V}O_{2\max}$ and the “plateau phenomenon”? Still no clarity?. *British Journal of Sports Medicine*, 42, 574 – 580.
- ❖ Noble, B.J., Metz, K.F., Pandolf, K.B. i Cafarelli, E. (1973). Perceptual responses to exercise: a multiple regression study. *Medicine and science in sports*, 5(2), 104 – 109.
- ❖ O'Donnell, D.E., Banzett, R.B., Carrieri-Kohlman, V., Casaburi, R., Davenport, P.W. i Gandevia, S.C. (2007). Pathophysiology of dyspnea in chronic obstructive pulmonary disease: A roundtable. *Proceedings of the American Thoracic Society*, 4(2), 145 – 168.
- ❖ Ohashi, S., Izumizaki, M., Atsumi, T. i Homma, I. (2013). CO_2 homeostasis is maintained in conscious humans by regulation of tidal volume, but not of respiratory rhythm. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 186, 155 – 163.
- ❖ Otis, A.B., Fenn, W.O. i Rahn, H. (1950). Mechanics of breathing in man. *Journal of applied physiology*, 2(11), 592 – 607.
- ❖ Parkes, M.J. (2013). Evaluating the importance of the carotid chemoreceptors in controlling breathing during exercise in man. *BioMed Research International*, 893506.
- ❖ Paterson, D.J. (1992). Potassium and ventilation in exercise. *Journal of Applied Physiology*, 72, 811 – 820.
- ❖ Paterson, D.J. (2014). Defining the neurocircuitry of exercise hyperpnoea.
- ❖ Poole, D.C. i Jones, A.M. (2017). Measurement of the maximum oxygen uptake $\dot{V}O_{2\max}$: $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ is no longer acceptable. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 122(4), 997 – 1002.
- ❖ Pramanik, T., Sharma, H.O., Mishra, S., Prajapati, R. i Singh S. (2009). Immediate effect of slow pace Bhastrika pranayama on blood pressure and heart rate. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 15, 293 – 5.
- ❖ Ramsay, S.C., Adams, L., Murphy, K., Corfield, D.R., Grootenok, S., Bailey, D.L., Frackowiak, R.S. i Guz, A. (1993). Regional cerebral blood flow during volitional expiration in man: a comparison with volitional inspiration. *The Journal of physiology*, 461, 85 – 101.

- ❖ Rausch, S.M., Whipp, B.J., Wasserman, K. i Huszczuk, A. (1991). Role of the carotid bodies in the respiratory compensation for the metabolic acidosis of exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 444, 567 – 578.
- ❖ Reindl, I. i Kleber, F.X. (1996). Exertional hyperpnea in patients with chronic heart failure is a reversible cause of exercise intolerance. *Basic research in cardiology*, 91 Suppl 1, 37 – 43.
- ❖ Riebe, D., Ehrman, J.K., Liguori, G. i Magal, M. (2017). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (10th ed.). Philadelphia, PA: *Wolters Kluwer*.
- ❖ Robertson, R.J. (1982). Central signals of perceived exertion during dynamic exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 14(5), 390 – 396.
- ❖ Rodman, J.R., Henderson, K.S., Smith, C.A. i Dempsey, J.A. (2003). Cardiovascular effects of the respiratory muscle metaboreflexes in dogs: rest and exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 95(3), 1159 – 1169.
- ❖ Romer, L.M., McConnell, A.K. i Jones, D.A. (2002b). Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *Journal of sports sciences*, 20(7), 547 – 562.
- ❖ Romer, L., Dempsey, J. (2006). Legs pay out for the cost of breathing! *Physiology News*, 65, 25 – 7.
- ❖ Romer, L.M. i Polkey, M.I. (2008). Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *Journal of Applied Physiology*, 104, 879 – 888.
- ❖ Rossiter, H. B., Kowalchuk, J. M., & Whipp, B. J. (2006). A test to establish maximum O₂ uptake despite no plateau in the O₂ uptake response to ramp incremental exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 100(3), 764 – 770.
- ❖ S.A. Ward (2014). Control of Breathing During Exercise. *Morgan & Claypool Life Sciences*, 1 – 93.
- ❖ Salazar-Martínez, E., Santalla, A., Orellana, J.N., Strobl, J., Burtscher, M. i Menz, V. (2018). Influence of high-intensity interval training on ventilatory efficiency in trained athletes. *Respiratory physiology & neurobiology*, 250, 19 – 23.
- ❖ Salazar-Martínez, E., Terrados, N., Burtscher, M., Santalla, A. i Naranjo Orellana, J. (2016). Ventilatory efficiency and breathing pattern in world-class cyclists: A three-year observational study. *Respiratory physiology & neurobiology*, 229, 17 – 23.
- ❖ Sales, A.T., Fregonezi, G.A., Ramsook, A.H., Guenette, J.A., Lima, I.N. i Reid, W.D. (2016). Respiratory muscle endurance after training in athletes and nonathletes: a systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 17, 76 – 86.

- ❖ Scharhag-Rosenberger, F., Meyer, T., Gäßler, N., Faude, O. i Kindermann, W. (2010). Exercise at given percentages of VO_2max : Heterogeneous metabolic responses between individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 74 – 79.
- ❖ Schaun G.Z. (2017). The Maximal Oxygen Uptake Verification Phase: a Light at the End of the Tunnel?. *Sports medicine - open*, 3(1), 44.
- ❖ Shea, S.A. (1996). Behavioural and arousal-related influences on breathing in humans. *Experimental Physiology*, 81, 1 – 26.
- ❖ Sheel, A.W., Derchak, P.A., Morgan, B.J., Pegelow, D.F., Jacques, A.J. i Dempsey, J.A. (2001). Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *The Journal of physiology*, 537(Pt 1), 277 – 289.
- ❖ Sheel A.W. (2002). Respiratory muscle training in healthy individuals: physiological rationale and implications for exercise performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(9), 567 – 581.
- ❖ Sheel, A.W. i Romer, L.M. (2012). Ventilation and respiratory mechanics. *Comprehensive Physiology* 2, 1093 – 1142. Sheel, A.W., Scheinowitz, M., Iannetta, D., Murias, J.M., Keir, D.A., Balmain, B.N., Wilhite, D.P., Babb, T.G., Toffoli, G., Silva, B.M., da Silva, G., Gruet, M., Romain, A.J., Pageaux, B., Sousa, F., Rodrigues, N.A., de Araujo, G.G., Bossi, A.H., Hopker, J., Brietzke, C., Pires, F.O., Angius, L. (2020). Commentaries on Viewpoint: Time to reconsider how ventilation is regulated above the respiratory compensation point during incremental exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 128(5), 1450 – 1455.
- ❖ Silva, T.M., Aranda, L.C., Paula-Ribeiro, M., Oliveira, D.M., Medeiros, W.M., Vianna, L.C., Nery, L.E. i Silva, B.M. (2018). Hyperadditive ventilatory response arising from interaction between the carotid chemoreflex and the muscle mechanoreflex in healthy humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 125(1), 215 – 225.
- ❖ Skinner, J.S., Borgm G. i Buskirk, E.R. (1969). Physiological and perceptual reactions to exertion of young men differing in activity and body size. In: Franks BD (ed) Exercise and fitness. *Athletic Institute, Chicago*, 53 – 66.
- ❖ Smutok, M.A., Skrinar, G.S. i Pandolf, K.B. (1980). Exercise intensity: subjective regulation by perceived exertion. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 61(12), 569 – 574.
- ❖ Somjen, G.G. (1992). The missing error signal - Regulation beyond negative feedback. *News in Physiological Sciences*, 7, 184 – 185.

- ❖ Spengler, C. (2002). Respiratory Control, Respiratory Sensations and the Effects on Exercise Performance. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie»*, 50(3), 101 – 108.
- ❖ Spiro, S.C., Juniper, E., Bowman, P. i Edwards, R.T. (1974). An increasing work rate test for assessing the physiological strain of submaximal exercise. *Clinical science and molecular medicine*, 46, 191 – 206.
- ❖ Stendardi, L., Grazzini, M., Gigliotti, F., Lotti, P. i Scano, G. (2005). Dyspnea and leg effort during exercise. *Respiratory Medicine*, 99(8), 933 – 942.
- ❖ Stickland, M.K., Lindinger, M.I., Olfert, I.M., Heigenhauser, G.J. i Hopkins, S.R. (2013). Pulmonary gas exchange and acid-base balance during exercise. *Comprehensive Physiology*, 3(2), 693 – 739.
- ❖ St Croix, C.M., Morgan, B.J., Wetter, T.J. i Dempsey, J.A. (2000). Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. *The Journal of physiology*, 529 Pt 2(Pt 2), 493 – 504.
- ❖ Stringer, W., Casaburi, R. i Wasserman, K. (1992). Acid–base regulation during exercise and recovery in humans. *Journal of Applied Physiology*, 72, 954 – 961.
- ❖ Sun, X.G., Hansen, J.E. i Stringer, W.W. (2012). Oxygen uptake efficiency plateau: physiology and reference values. *European journal of applied physiology*, 112(3), 919 – 928.
- ❖ Sun, X.G., Hansen, J.E., Garatachea, N., Storer, T.W. i Wasserman, K. (2002). Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 166(11), 1443 – 1448.
- ❖ Taylor, H.L., Buskirk, E. i Henschel, A. (1955). Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *Journal of applied physiology*, 8(1), 73 – 80.
- ❖ Taylor, B.J., How, S.C. i Romer, L.M. (2006). Exercise-induced abdominal muscle fatigue in healthy humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 100(5), 1554 – 1562.
- ❖ Thornton, J.M., Guz, A., Murphy, K., Griffith, A.R., Pedersen, D.L., Kardos, A., Leff, A., Adams, L., Casadei, B. i Paterson, D. . (2001). Identification of higher brain centres that may encode the cardiorespiratory response to exercise in humans. *The Journal of physiology*, 533(Pt 3), 823 – 836.
- ❖ Thornton, J.M., Guz, A., Murphy, K., Griffith, A.R., Pedersen, D.L. i Kardos, A. (2001). Identification of higher brain centres that may encode the cardiorespiratory response to exercise in humans. *Journal Of Physiology-London*, 533(3), 823 – 836.

- ❖ Tipton, M.J., Harper, A., Paton, J. i Costello, J.T. (2017). The human ventilatory response to stress: rate or depth?. *The Journal of physiology*, 595(17), 5729 – 5752.
- ❖ Tucker, R. (2009). The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. *British journal of sports medicine*, 43(6), 392 – 400.
- ❖ Turner, D.L. i Sumners, D.P. (2002). Associative conditioning of the exercise ventilatory response in humans. *Respiratory physiology and neurobiology*, 132(2), 159 – 168.
- ❖ Veasey, S.C., Fornal, C.A., Metzler, C.W. i Jacobs, B.L. (1995). Response of serotonergic caudal raphe neurons in relation to specific motor activities in freely moving cats. *Journal of Neuroscience*, 15, 5346 – 5359.
- ❖ Verges, S., Bachasson, D. i Wuyam, B. (2010). Effect of acute hypoxia on respiratory muscle fatigue in healthy humans. *Respiratory research*, 11(1), 109.
- ❖ Vučetić, V. (2007). Razlike u pokazateljima energetske kapaciteta trkača dobivenih različitim protokolima opterećenja (*Doktorska disertacija*), Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- ❖ Walsh, S.D. i Davis, J.A. (1990). Noninvasive lactate threshold detection using the modified V-Slope method with non-breath-by-breath data. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, S56.
- ❖ Ward, S.A. (2000). Control of the exercise hyperpnoea in humans: a modeling perspective. *Respiration physiology*, 122(2-3), 149 – 166.
- ❖ Ward, S.A. (2018). Determinants of the physiological systems responses to muscular exercise in healthy subjects. *European Respiratory Monograph*, 80, 1 – 33.
- ❖ Ward, S.A. i Davis, P. (2014). Control of breathing during exercise. *Colloquium Digital Library of Life Sciences*.
- ❖ Wasserman, K., Van Kessel, A.L. i Burton, G.G. (1967). Interaction of physiological mechanisms during exercise. *Journal of applied physiology*, 22(1), 71 – 85.
- ❖ Wasserman, K., Beaver, W.L., Whipp, B.J. (1990). Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation*, 81, 14 – 30.
- ❖ Wasserman, K., Whipp, B.J. i Casaburi, R. (2011). Respiratory Control During Exercise. Supplement 11. *Handbook of Physiology, The Respiratory System, Control of Breathing. Chapter 17*, 595 – 619.
- ❖ Wasserman, K., Cox, T.A. i Sietsema, K.E. (2014). Ventilatory regulation of arterial H(+) (pH) during exercise. *Respiratory physiology & neurobiology*, 190, 142 – 148.

- ❖ Wasserman, K., Whipp, B.J. i Casaburi, R. (1986). Respiratory control during exercise. In: Fishman, A.P., Cherniack, N.S., Widdicombe, J.G. (eds) *Handbook of physiology, sect 3. The respiratory system, vol 2. American Physiological Society, Bethesda*, 595 – 620.
- ❖ Weil, J.V., Byrne-Quinn, E., Sodal, I.E., Kline, J.S., McCullough, R.E. i Filley, G.F. (1972). Augmentation of chemosensitivity during mild exercise in normal man. *Journal of Applied Physiology*, 33, 813 – 819.
- ❖ Weiser, P.C. i Stamper, D.A. (1977). Psychophysiological interactions leading to increased effort, leg fatigue, and respiratory distress during prolonged, strenuous bicycle riding. In G. Borg (Ed.), *Physical work and effort*, 401–416.
- ❖ Whipp, B.J., Wasserman, K., Davis, J.A., Lamarra, N. i Ward, S.A. (1980). Determinants of O₂ and CO₂ kinetics during exercise in man. In: *Exercise Bioenergetics and Gas Exchange*, edited by P. Cerretelli and B. J. Whipp. *Amsterdam: Elsevier*, 175 – 185.
- ❖ Witt, J.D., Guenette, J.A., Rupert, J.L., McKenzie, D.C. i Sheel, A.W. (2007). Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *The Journal of physiology*, 584(Pt 3), 1019 – 1028.
- ❖ Wolkove, N., Altose, M.D., Kelsen, P.D., Kondapalli, P.G. i Cherniack, N.S. (1981). Perception of changes in breathing in normal human subjects. *Journal of applied physiology*, 50(1), 78 – 83.
- ❖ Wood, H.E., Mitchell, G.S., i Babb, T.G. (2008). Short-term modulation of the exercise ventilatory response in young men. *Journal of Applied Physiology*, 104, 244 – 252.
- ❖ Wyatt, F.B. i McCarthy, J.P.(2003). Age associated declines in exercise time to exhaustion and ventilatory parameters in trained cyclists. *Journal of Exercise Physiology*, 6 (1), 12 – 17.
- ❖ Yamashiro, S.M. i Grodins, F.S. (1973). Respiratory cycle optimization in exercise. *Journal of applied physiology*, 35(4), 522 – 525.
- ❖ Yildirim, G. i Sahin, N.H. (2004). The effect of breathing and skin stimulation techniques on labour pain perception of Turkish women. *Pain research & management*, 9(4), 183 – 187.
- ❖ Yu, H., Sun, C., Sun, B., Chen, X. i Tan, Z. (2021). Systematic Review and Meta-Analysis of the Relationship between Actual Exercise Intensity and Rating of Perceived Exertion in the Overweight and Obese Population. *International journal of environmental research and public health*, 18(24), 12912.

8. ŽIVOTOPIS AUTORA S POPISOM OBJAVLJENIH DJELA

Marko Možek je rođen 12.11.1984. godine. Osnovnu školu upisuje i završava u Prelogu. Srednju školu također upisuje i završava u Prelogu, smjer „ekonomski tehničar“. Kineziološki fakultet u Zagrebu upisuje 2003. godine, a kao usmjerenje odabire „Kondicijsku pripremu sportaša“. Diplomira 2008. godine, sa vrlo dobrim prosjekom (4.33). Od 2009. godine do danas radi kao profesor tjelesne i zdravstvene kulture u osnovno i srednjoškolskom obrazovnom sustavu.

Poslijediplomski doktorski studij upisuje 2009. godine, te mu je fenomen disanja jedan od temeljnih izazova u stručnom i znanstvenom napretku.

Trenutno radi kao profesor tjelesne i zdravstvene kulture u Tehničkoj školi u Čakovcu, prije toga je radio u nekoliko osnovnih i srednjih škola na području Međimurske županije, radi kao edukator obuke neplivača kod učenika trećih razreda osnovne škole. Živi sa suprugom u Pribislavcu, otac je dvoje djece.

Popis objavljenih radova:

1. Vučetić, V., **Možek, M.**, & Rakovac, M. (2015). Peak blood lactate parameters in athletes of different running events during low - intensity recovery after ramp-type protocol. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(4), 1057–1063.
2. Puklavec, A., **Možek, M.**, Hublin, T. (2010). Razlike u antropometrijskim

karakteristikama i bazičnim motoričkim sposobnostima učenika Osnovne škole Nedelišće. 4. posebno usmjereni Kineziološki simpozij: individualizacija u kineziološkoj edukaciji

3. Peršun, J., Hublin, T., **Možek, M.** (2010). Individualizacija rada u treningu squasha mlađih dobnih kategorija. U: Findak (ur.) Zbornik radova 19. ljetne škole kineziologa Republike Hrvatske, 2010., (str.363-367). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
4. Hublin, T., Barbaros, T.P., **Možek, M.** (2010). Razvoj brzine, agilnosti i eksplozivnosti u tenisača od 11. do 14. godine. U: Jukić, Gregov, Šalaj, Milanović, Trošt-Bobić, (ur.) Zbornik radova 8. godišnje međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša, 2010., (str.524-527). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Udruga kondicijskih trenera Hrvatske