

Utjecaj zvučno-vibracijske terapije na aktivnost autonomnoga živčanoga sustava i moždanu aktivnost nakon intenzivnoga sportskoga treninga

Klarić, Zdenko

Doctoral thesis / Disertacija

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:167873>

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

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



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

Zdenko Klarić

**UTJECAJ ZVUČNO-VIBRACIJSKE TERAPIJE NA
AKTIVNOST AUTONOMNOGA ŽIVČANOGA
SUSTAVA I MOŽDANU AKTIVNOST NAKON
INTENZIVNOGA SPORTSKOGA TRENINGA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2024



University of Zagreb
FACULTY OF KINESIOLOGY

Zdenko Klarić

**THE EFFECT OF SOUND-VIBRATION THERAPY ON
AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM ACTIVITY AND ON
BRAIN ACTIVITY AFTER INTENSIVE PHYSICAL
LOAD**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2024



Sveučilište u Zagrebu
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

ZDENKO KLARIĆ

**UTJECAJ ZVUČNO-VIBRACIJSKE TERAPIJE NA
AKTIVNOST AUTONOMNOGA ŽIVČANOGA
SUSTAVA I MOŽDANU AKTIVNOST NAKON
INTENZIVNOGA SPORTSKOGA TRENINGA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: prof.dr.sc. Iris Zavoreo

Zagreb, 2024



University of Zagreb
FACULTY OF KINESIOLOGY

Zdenko Klarić

**THE EFFECT OF SOUND-VIBRATION THERAPY ON
AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM ACTIVITY AND ON
BRAIN ACTIVITY AFTER INTENSIVE PHYSICAL
LOAD**

DOCTORAL THESIS

Supervisor: prof.dr.sc. Iris Zavoreo

Zagreb, 2024

Informacije o mentoru

Prof.dr.sc.Iris Zavoreo, dr.med., diplomirala je 1999. godine na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i stekla naslov doktora medicine. Od rujna 1999 zaposlena je kao znanstveni novak na Klinici za neurologiju KB «Sestre milosrdnice» u okviru projekta «Ispitivanje moždane vazoreaktivnosti stres testovima» i «Trodimenzionalni ultrazvuk i funkcionalni TCD u ispitivanju moždane cirkulacije» pod mentorstvom Akademkinje Vide Demarin. Uspješno je završila znanstveni i poslijediplomski studij iz područja Biomedicine na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i u prosincu 2004. godine stekla naziv magistra znanosti, a u listopadu 2008. stekla je naziv doktora znanosti obranivši doktorsku disertaciju na Prirodoslovno matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. U veljači 2008. godine položila je specijalistički ispit i stekla naziv specijalista neurologije. Od 1999. godine uključena je u nastavni proces na Medicinskom, Stomatološkom i Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom 2011. stekla naslov znanstvenog suradnika i naslovno znanstveno nastavno zvanje docenta na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, u 3/2016. stekla zvanje višeg znanstvenog suradnika, a u 12/2016. naslovno znanstveno nastavno zvanje izvanrednog profesora na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom 2019. godine stekla je status subspecijalista iz područja epileptologije, a potom tijekom 2020. godine i subspecijalista iz područja neuroimunologije. Tijekom 2021. stekla je naziv znanstvenog savjetnika, a potom 2022 znanstveno nastavno zvanje redovitog profesora. Voditeljica je Referentnog centra za dijagnostiku i liječenje akutne i kronične boli Ministarstva zdravstva Republike Hrvatske. Imenovana od strane Ministarstva zdravstva Republike Hrvatske tijekom 2016. za članicu radne skupine za razvoj i promicanje multidisciplinarnе suradnje za promicanje općeg i oralnog zdravlja. U 1/2017. postala je pročelnicom Zavoda za epilepsiju, neuromišićne bolesti i kliničku elektrofiziologiju Klinike za neurologiju KBCSM.

Članica je domaćih i međunarodnih stručnih društava. Kao autorica i koautorica prezentirala je radove na brojnim domaćim i međunarodnim stručnim skupovima u obliku postera i pozvanih predavanja. Pokazala se uspješnim mentorom u izradi diplomskih i doktorskih disertacija, kao i uspješnim sudjelovanjem u izradi znanstvenih i stručnih knjiga te sveučilišnih udžbenika. U svom dugogodišnjem radu područje interesa je usmjerila na liječenje i dijagnostiku epilepsije, akutne i kronične boli, multiple skleroze, poseban naglasak u svojim aktivnostima polagala je na primarnu i sekundarnu prevenciju navedenih poremećaja uz poseban naglasak na ulogu tjelesne aktivnosti.

Zahvale

Prije svega, želim izraziti svoju duboku zahvalnost svojoj mentorici, prof. dr. sc. Iris Zavoreo. Njeno stručno vodstvo, strpljenje, upute i podrška bili su neprocjenjivi, osobito u trenucima kada su mi bili najpotrebniji.

Posebno hvala svim Ispitanicima koji su dali zadnje atome snage tijekom protokola treninga i dali svoj maksimum tijekom procesa mjerenja. Njihov trud i predanost inspirirali su me da nastavim raditi najbolje što mogu.

Veliko hvala gospođi Đurđici Kamenarić, voditeljici ureda poslijediplomskih studija na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu. Njena logistička podrška, precizne upute, spremnost na pomoć, dobra volja i uvijek nasmijano lice držali su me na putu i hrabрили za nastavak. Ovu zahvalu dajem i u ime mnogih mojih kolega kojima je njena podrška također olakšavala i osvjetljavala put.

Također, neizmerno hvala dugujem prof. psihologije Ani Vodanović Kosić. Njena stručna pomoć, savjeti, velika podrška i pomoć pri mjerenjima, kao i nesebično dijeljenje svoje ekspertize, bili su od ključnog značaja za ovaj Rad.

Od srca zahvaljujem gospodinu Marku Paviću na nesebičnom ustupanju mjernog instrumenta kad god je to bilo potrebno. Bez njegove tehničke podrške, ne bi uopće bilo moguće provesti potrebna kvantitativna mjerenja.

Veliko hvala i palac gore prijatelju Dariju Pokasu koji je uvijek bio tu kao IT podrška. Njegova pomoć u traženju referentne literature i ispitanika, kao i strpljivo odgovaranje na mnogobrojna pitanja bili su neizmjerni za napredak ovog projekta.

Hvala mojim roditeljima, bez kojih svakako ne bih bio to što jesam. Uvjeti koje su mi pružili učinili su moj osobni razvoj i znanstveni rad mogućim.

Na kraju, veliko hvala mojoj Tini na svoj pruženoj podršci. Tvoja nesebična podrška, briga i stvaranje uvjeta u kojima sam se izoliran mogao posvetiti samo pisanju, kao i tvoja blagost, strpljenje i prisutnost, iz kojih svakodnevno učim, bili su i dalje uvijek jesu utkani u moj put. Na isti način su i za ovo znanstveno putovanje bili neprocjenjivi.

SAŽETAK

Uvod: Svi adaptacijski procesi u i na tijelu potaknuti treningom, događaju se tijekom oporavka. Dostupna literatura i broj istraživanja o oporavku nakon sportskog treninga značajno zaostaju za spoznajama o aktivnom dijelu trenažnog procesa. Središnji i autonomni živčani sustav, pod utjecajem fizičke aktivnosti, podložni su umoru koji značajno mijenja njihove funkcionalne karakteristike. Iz tog razloga potrebno je proučavati, razvijati i primjenjivati metode oporavka nakon fizičke aktivnosti, time skratiti vrijeme adaptacije te na taj način trenažni proces učiniti efikasnijim i sigurnijim. Korištenje zvuka i zvučnih vibracija u cilju iscjeljenja i postizanja opće dobrobiti seže daleko u prošlost, a kod nekih nativnih naroda u neizmijenjenom obliku intenzivno se koriste i danas. Provedena znanstvena istraživanja potaknuta učinkovitošću ovog fenomena sve ozbiljnije potvrđuju njegovu učinkovitost. Stoga ne samo potrebito nego je i nužno istražiti mogućnosti uporabe ovakve prakse u kineziologiji.

Cilj i hipoteze istraživanja: Prezentirano istraživanje ima za cilj istražiti učinke zvučno-vibracijske terapije na aktivnost autonomnog živčanog sustava tijekom oporavka nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti. Iz postavljenog cilja proizašle su tri postavljene hipoteze: Hipoteza 1: Zvučno-vibracijska terapija značajno smanjuje simpatičku aktivnost autonomnog živčanog sustava nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti. Hipoteza 2: Zvučno-vibracijska terapija značajno povećava parasimpatičku aktivnost autonomnog živčanog sustava nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti. Hipoteza 3: Zvučno-vibracijska terapija značajno doprinosi poboljšanju brzine i kvalitete oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga. Uz zadani cilj utvrđivanja učinaka na autonomni živčani sustav, prezentirani rad istražuje učinke zvučno-vibracijske terapije na aktivnost središnjeg živčanog sustava i subjektivne dojmove oporavka.

Metodologija: Metodologija obuhvaća kvalitativno-kvantitativni eksperiment ponovljenih mjerenja na istoj skupini treniranih amaterskih sportaša podvrgnutih intenzivnom sportskom treningu. Mjerenje inicijalnih vrijednosti mjerenih varijabli obavljano je na početku protokola nakon čega je slijedio intenzivan sportski trening. Po obavljenom treningu ispitanici bi legli na stol za masažu gdje su ostali ležati 45 minuta. U kontrolnom protokolu ispitanici su za vrijeme oporavka samo ležali u tišini dok je eksperimentalni protokol, uz identične uvjete ležanja, uključivao i intervenciju zvučno-vibracijskom terapijom. Tijekom oporavka u oba protokola mjereni su parametri središnjeg i autonomnog živčanog sustava. Subjektivni dojam ispitanika mjereno je standardiziranom Skalom subjektivnog doživljaja vježbanja (*Subjective*

Exercise Experiences Scale - SEES) uz koju je još dodatnim Upitnikom subjektivnog dojma i opisom vlastitim riječima procjenjivan njihov subjektivni doživljaj. Subjektivni opis vlastitog doživljaja kvalificiran je opisno i priložen kao dodatak kvantitativnim rezultatima. Kolmogorov-Smirnovljevim testom je testirana normalnost distribucije svih varijabli. Ukoliko se pojedina distribucija pokazala normalnom, podaci za tu varijablu prikazani su kao aritmetičke sredine i standardne devijacije, a ako podaci ne prate normalnost Gaussove krivulje, prikaz podataka je definiran kroz medijane i interkvartilne raspone (25.-ti i 75.-ti percentil). Podaci su obrađeni s pomoću ANOVE za ponavljajuća mjerenja radi usporedbe svih točaka, a parovi varijabli u slučaju potvrde značajnosti. Također parovi varijabli prije i poslije intervencije testirani su Studentovim t-testom za zavisne uzorke ili Wilcoxonovim testom parova u slučaju neparametrijske statistike uz postavljenu razinu značajnosti $p < 0,05$. Utjecaj intervencije je provjeren izračunom čimbenika učinka (Cohenov učinak) i definiran je kao malen, umjeren ili veliki.

Rezultati: Iako su vidljivi neki trendovi, rezultati nisu zabilježili značajne promjene na razini funkcije središnjeg živčanog sustavu pod utjecajem eksperimentalnog protokola. S druge strane, autonomni živčani sustav pokazao je značajne razlike u smjeru povećanja parasimpatičke aktivnosti, jačanju vagusnog tonusa i smanjenju simpatičkog utjecaja tijekom zvučno-vibracijske terapije u odnosu na protokol bez njene primjene. Procjena subjektivnog dojma SEES skalom i Upitnikom subjektivnog dojma vlastitim riječima nedvojbeno su pokazali pozitivna iskustva u smjeru oporavka i kvalitativno potvrdili dobivene kvantitativne nalaze.

Zaključak: Analiza je zaključno pokazala kako zvučno-vibracijska terapija tibetanskim zvučnim zdjelama značajno doprinosi bržem povratku autonomnog živčanog sustava u stabilno stanje nakon intenzivne fizičke aktivnosti smanjenjem simpatičkog i povećanjem vagalnog utjecaja, stvarajući tako uvjete kvalitetnijeg i bržeg oporavka aktiviranih tjelesnih sustava. Utjecaj zvučno-vibracijske terapije (ZVT) nije pokazao značajan utjecaj na središnji živčani sustav. Razlog tome je prebrza prirodna normalizacija mjerene EEG aktivnosti. Naime, nije moguće napraviti intervenciju i mjerenja u tako kratkom periodu koji nudi vrijeme stabilizacije parametara moždane valne aktivnosti (do 6 min). Budući da EEG aktivnost središnjeg živčanog sustava nije relevantan marker oporavka nakon intenzivne sportske aktivnosti, iako nije zabilježen značajan utjecaj intervencije, to nije utjecalo na dokazivanje istraživanog oporavaka primjenom ZVT-a. Nadalje, uvidom u rezultate dobivene mjerenjem SEES skalom kao i u opise pojedinačnih subjektivnih iskustava ispitanika, uz

primjenu ZVT-a utvrđeno je značajno povećanje osjećaja osobne dobrobiti kao i smanjenje osjećaja umora i psihološkog distresa nakon intenzivnog sportskog treninga.

Ključne riječi: Parasimpatički živčani sustav, simpatički živčani sustav, Vagusni živac, umor, oporavak nakon intenzivne sportske aktivnosti, intenzitet i ekstenzitet treninga, biosignali, moždani valovi, varijabilnost srčanog ritma, zvuk, vibracije, vibroakustika, tibetanske zvučne zdjele.

ABSTRACT

Introduction: All adaptive processes within and on the body triggered by training occur during recovery. The available literature and the number of studies on recovery following sports training significantly lag behind the knowledge concerning the active part of the training process. The central and autonomic nervous systems, under the influence of physical activity, are susceptible to fatigue, which significantly alters their functional characteristics. For this reason, it is necessary to study, develop, and apply recovery methods after physical activity to shorten the adaptation period, thereby making the training process more efficient and safer. The use of sound and sound vibrations for healing and achieving general well-being dates back to ancient times and is still intensively used in unchanged forms among some indigenous peoples today. Scientific research conducted, prompted by the effectiveness of this phenomenon, increasingly confirms its efficacy. Therefore, it is not only necessary but also imperative to explore the potential application of such practices in kinesiology.

Research Objective and Hypotheses: The presented research aims to investigate the effects of sound-vibration therapy on the activity of the autonomic nervous system during recovery following a high-intensity physical activity protocol. From this aim, three hypotheses were derived:

Hypothesis 1: Sound-vibration therapy significantly reduces sympathetic activity of the autonomic nervous system after a high-intensity physical activity protocol.

Hypothesis 2: Sound-vibration therapy significantly increases parasympathetic activity of the autonomic nervous system after a high-intensity physical activity protocol.

Hypothesis 3: Sound-vibration therapy significantly contributes to improving the speed and quality of recovery following intense sports training.

In addition to the primary aim of determining the effects on the autonomic nervous system, this study investigates the effects of sound-vibration therapy on the activity of the central nervous system and subjective recovery impressions.

Methodology: The methodology includes a qualitative-quantitative repeated measures experiment on the same group of trained amateur athletes subjected to intense sports training. Initial values of measured variables were recorded at the beginning of the protocol, followed by intense sports training. After completing the training, the subjects lay on a massage table for 45 minutes. In the control protocol, the subjects lay in silence during recovery, while the experimental protocol included an intervention with sound-vibration therapy under identical

lying conditions. During recovery in both protocols, parameters of the central and autonomic nervous systems were measured. The subjective impression of the subjects was measured using the standardized Subjective Exercise Experiences Scale (SEES) and an additional subjective impression questionnaire, with personal descriptions evaluated descriptively and included as an appendix to the quantitative results. The Kolmogorov-Smirnov test was used to check the normality of the distribution of all variables. If a particular distribution was normal, data for that variable were presented as arithmetic means and standard deviations. If the data did not follow the normality of the Gaussian curve, data presentation was defined through medians and interquartile ranges (25th and 75th percentile). Data were analyzed using ANOVA for repeated measures to compare all points, and pairs of variables in case of confirmed significance. Also, pairs of variables before and after the intervention were tested using the Student's t-test for dependent samples or the Wilcoxon rank sum test for non-parametric statistics with a set significance level of $p < 0.05$. The impact of the intervention was checked by calculating the effect size (Cohen's effect) and defined as small, moderate, or large. All analyses in this doctoral dissertation were conducted using SPSS version 23.

Results: Although some trends were observed, the results did not show significant changes in the function of the central nervous system under the experimental protocol. On the other hand, the autonomic nervous system showed significant differences in the direction of increased parasympathetic activity, enhanced vagal tone, and reduced sympathetic influence during sound-vibration therapy compared to the protocol without its application. The assessment of subjective impressions using the SEES scale and the subjective impression questionnaire clearly indicated positive experiences towards recovery, qualitatively confirming the obtained quantitative findings.

Conclusion: The analysis concluded that sound-vibration therapy with Tibetan singing bowls significantly contributes to a faster return of the autonomic nervous system to a stable state after intense physical activity by reducing sympathetic and increasing vagal influence, thus creating conditions for a higher quality and faster recovery of activated body systems. The impact of sound-vibration therapy (SVT) did not show a significant effect on the central nervous system. This is due to the rapid natural normalization of measured EEG activity, as it is not possible to conduct an intervention and measurements within the short period that offers stabilization of brain activity parameters (up to 6 minutes). Since central nervous system activity is not a relevant marker of recovery after intense sports activity, the lack of significant intervention impact did not affect the validation of the researched recovery using SVT.

Furthermore, reviewing the results obtained from the SEES scale measurements and the descriptions of individual subjective experiences, the application of SVT significantly increased experience of personal well-being and reduced experience of fatigue and psychological distress after intense sports training.

Theoretical and Practical Implications: This research is one of the first of its kind, making a step forward in exploring recovery techniques. Evidence of the effectiveness and practical applicability of this type of therapy suggests its use in practice for the purpose of better recovery, improved sports performance, injury prevention, and overall enhancement of athletes' quality of life.

Keywords: Parasympathetic nervous system, sympathetic nervous system, vagus nerve, fatigue, recovery after intense sports activity, training intensity and extent, biosignals, brain waves, heart rate variability, sound, vibrations, vibroacoustics, Tibetan singing bowls.

SADRŽAJ

INFORMACIJE O MENTORU	V
ZAHVALE	VI
SAŽETAK.....	VII
ABSTRACT	X
UVOD	1
UMOR.....	3
BIOSIGNALI	5
SREDIŠNJI ŽIVČANI SUSTAV	6
Moždani valovi.....	6
CŽS i umor nakon intenzivnog sportskog treninga.....	8
Amplituda alfa valova	9
APF - vršna frekvencija alfa valova	11
Alfa/theta omjer.....	12
AUTONOMNI ŽIVČANI SUSTAV	13
Simpatički živčani sustav	13
Parasimpatički živčani sustav.....	13
Nervus Vagus	14
Simpatički i parasimpatički odgovor na trening i oporavak	15
Dinamični autonomni odnos	17
AŽS i umor nakon intenzivnog sportskog treninga.....	19
VARIJABILNOST SRČANOG RITMA.....	20
Respiratorna sinus aritmija.....	22
Mjerenje HRV-a	22
Vremenska domena analize HRV-a	23
Frekvencijska domena analize HRV-a	24
Implikacije varijabilnosti srčanog ritma u sportu.....	26
Varijable vremenske domene HRV-a.....	28
HRVamp - amplituda varijabilnosti srčanog ritma	28
NNmin, NNmax, NNmean.....	28

SDNN - Standardna devijacija NN intervala	28
RMSSD - Drugi korijen srednje vrijednosti uzastopnih razlika NN intervala.....	29
NN50 - Broj parova NN intervala različitih za više od 50 milisekundi.....	30
pNN50 - Udio NN50 intervala u mjerenom periodu.....	30
Varijable frekvencijske domene varijabilnosti srčanog ritma.....	31
VLF - Komponenta vrlo niske frekvencije	31
LF - Komponenta niske frekvencije.....	31
%LF - Udio komponente niske frekvencije	32
HF - Komponenta visoke frekvencije	33
%HF - Udio komponente visoke frekvencije.....	34
LF/HF - Omjer visokofrekventne i niskofrekventne komponente	34
Srčana frekvencija	35
Frekvencija disanja.....	36
Amplituda disanja	37
BVP - Puls krvnog tlaka.....	37
Električna provodljivost kože.....	38
Temperatura na površini kože	39
Koherencija srčano-respiratornog ritma	39
VIBRACIJE	41
Percepcija vibracija u ljudskom tijelu	41
ZVUK.....	42
GLAZBA I GLAZBENA TERAPIJA	42
ZVUKOTERAPIJA.....	43
RAZLIKA GLAZBENE TERAPIJE, ZVUKOTERAPIJE I ZVUČNO-VIBRACIJSKE TERAPIJE	44
VIBROAKUSTIKA	45
Vibroakustika u drevnim praksama.....	47
TIBETANSKE ZVUČNE ZDJELE	48
Povijest tibetanskih zvučnih zdjela	48
Benefiti terapije tibetanskim zvučnim zdjelama	48
Akustika i vibracije tibetanskih zvučnih zdjela.....	49
Mehanizam djelovanja tibetanskih zvučnih zdjela na organizam	50
PROBLEM ISTRAŽIVANJA.....	52
CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	53

METODE ISTRAŽIVANJA	54
DIZAJN EKSPERIMENTA	54
ETIČKO ODOBRENJE.....	54
ISPITANICI	54
OPIS POSTUPKA	55
Protokol intenzivnog sportskog treninga.....	56
Protokol mjerenja	58
Protokol zvučno-vibracijske terapije.....	61
INSTRUMENTI	64
Kvalitativni instrument:.....	64
Nexus 10.....	64
Kvalitativni instrumenti:	68
SEES skala	68
Upitnik subjektivnog dojma	69
Tibetanske zvučne zdjele	72
MJERENE VARIJABLE.....	72
Kvantitativne varijable	73
Varijable centralnog živčanog sustava:	73
Varijable autonomnog živčanog sustava:.....	73
Varijable vremenske domene HRV-a:	73
Varijable frekvencijske domene HRV-a:	73
Kvalitativne varijable	74
Varijable mjerene SEES skalom	74
Varijable mjerene Upitnikom subjektivnog dojma	74
ANALIZA PODATAKA	74
REZULTATI	76
REZULTATI MJERENJA CŽS-A.....	76
Amplituda alfa valova	76
Alfa/theta – omjer amplitude alfa i theta valova	78
APF - vršna frekvencija alfa valova	79
REZULTATI MJERENJA AŽS-A	81
Rezultati vremenske domene srčanog ritma.....	81
HRVamp - amplituda varijabilnosti srčanog ritma	81

NNmin – minimalni NN interval	83
NNmax – maksimalni NN interval.....	84
NNmean – prosječni NN interval.....	86
NN50 - broj parova NN intervala različitih za više od 50 milisekundi.....	87
pNN50 - udio NN50 intervala.....	89
SDNN - standardna devijacija uzastopnih NN intervala.....	91
RMSSD - drugi korijen srednje vrijednosti uzastopnih razlika NN intervala.....	93
Rezultati frekvencijske domene srčanog ritma	94
VLF - komponenta vrlo niske frekvencije	94
LF - komponenta niske frekvencije.....	96
%LF - postotak niskofrekventne komponente	97
HF - komponenta visoke frekvencije	99
%HF - postotak visokofrekventne komponente	100
LF/HF ratio - omjer niske i visoke frekvencije	102
Rezultati mjerenja kontekstualnih varijabli.....	103
BVP - puls krvnog tlaka	103
Frekvencija disanja.....	105
Amplituda disanja	106
Srčana frekvencija	108
Rezultati dodatnih mjerenja stanja AŽS-a	109
Električna provodljivost kože.....	109
Temperatura na površini kože	111
Koherencija srčanog i respiratornog ritma	112
REZULTATI MJERENJA KVALITATIVNIH VARIJABLI	114
Varijable mjerene SEES skalom	114
Osjećaj pozitivne dobrobiti	114
Psihološki distress.....	116
Umor.....	118
Varijable dobivene Upitnikom subjektivnog dojma	120
Opis subjektivnog dojma.....	120
RASPRAVA.....	122
CILJ I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	122
KRATKI SAŽETAK REZULTATA.....	122

TRENING I OPORAVAK KAO KLJUČNI ELEMENTI TRENAŽNOG PROCESA	123
PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	123
ANALIZA I RASPRAVA DOBIVENIH REZULTATA	126
Rasprava i potvrda prve i druge hipoteze	128
Analiza i rasprava dodatno mjerenih varijabli AŽS-a.....	131
Analiza i rasprava dobivenih rezultata CŽS-a.....	132
Analiza i rasprava kvalitativnih rezultata dobivenih SEES skalom i Upitnikom subjektivnog dojma	133
Rasprava i potvrda treće hipoteze	134
Sažetak Rasprave.....	134
IMPLIKACIJE ISTRAŽIVANJA I OČEKIVANI ZNANSTVENI DOPRINOS	136
OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA	137
ZAKLJUČAK.....	138
POPIS LITERATURE.....	141
DODATAK	178
SKRAĆENICE KORIŠTENE U TEKSTU	178
ŽIVOTOPIS AUTORA	180

UVOD

Svi adaptacijski procesi u i na tijelu potaknuti treningom, događaju se tijekom oporavka (Meeusen, 2013). Da bi porast sportske forme bio maksimalan, trening učinkovit a zdravlje sportaša minimalno ugroženo, oporavak između dvije aktivnosti mora biti potpun (Bishop i sur., 2008; Kellmann, 2010; Anderson i sur., 2008). Obim i kvaliteta znanstvene literature kao i korištenih tehnika oporavka nakon aktivnosti, neusporedivo zaostaju za spoznajama direktno vezanim uz aktivni dio trenažnog procesa. Znanja kako tijelo aktivirati, zamoriti i iscrpiti značajno su obimnija i dostupnija od umijeća odmora, oporavka, regeneracije i pripreme za nove izazove. Iz tog razloga neophodno je, uz spoznaje o teoriji treninga, istraživati i metode oporavka, te ih u praksi primjenjivati. Jedino kada su trening i oporavak u balansu, rezultati mogu biti potpuni (Peake i Peake, 2019). Vrlo je lako nabrojati malobrojne tehnike oporavka primjenjivane u sportu, a njihova implementacija više je izuzetak nego pravilo. Osim sna i pasivnog odmora tu su masaže, hladne i tople kupke, krioterapija, istezanje, elektrostimulacija i katkad lagani „futing“ kao oblik nešto aktivnijeg odmora. Ovo su, bez sumnje, samo neke od metoda, ali kako nabrojanje ide dalje, lista metoda sve je manje poznata i njihovo korištenje u praksi biva ograničeno na izdvojene, individualne primjere. Masaža je jedan od standardno korištenih postupaka opuštanja mišica, saniranja ozljeda, poticanja izmjene tvari, ubrzanja regeneracije i pripreme za nove i veće napore. Zvuk i glazba također imaju blagotvoran iscjeljujući učinak na organizam u cijelosti, što je i dokazano brojnim studijama (Antić 2008; Antić 2012; Kovačević i Baniček 2015; Kučikienė i Praninskienė, 2018). Sve brojnija populacija institucija, liječnika i terapeuta (UK Health Care, University Hospitals Of Cleveland, The University of Texas Anderson Cancer Center, Cancer treatment centers of America, Cleveland Clinic itd.) uviđa potencijal i prakticira zvuk kao oblik terapije. Zvučno-vibracijska masaža je oblik združene terapije zvučnim valovima i mehaničkim vibracijama kojima se, prodirući duboko u tkivo, potiču blagotvorni procesi obnove i regeneracije organizma (Brewer 1998; Boyd-Brewer 2004; Haltiwanger 2010; Humphries 2010). Tisućama godina zvučno-vibracijska masaža tibetanskim zvučnim zdjelama (*tibetan singing bowls*) koriste se kao vrlo učinkovita tradicionalna metoda oporavka tijela, snižavanja pojačane simpatičke aktivnosti, kao sredstvo postizanja dubljih stanja opuštenosti te iscjeljivanje (Humphries 2010; Ogui 2015; Goldsby 2016). Istraživanja u fizici kroz dinamiku fluida i akustiku, pokazuju kompleksnost zvučnih i mehaničkih vibracija nastalih unutar pobuđenih tibetanskih zdjela (Terwagne i Bush 2011). Djelotvornost ovog oblika terapije,

iako relativno novog u suvremenom svijetu, znanstveno je dokazana i već se uveliko koristi kao postupak u smanjenju krvnog tlaka (Barrass 2015), poboljšanju kvalitete sna, pomoći pri zacjeljivanju ozljeda i postizanju opuštenog stanja (Humphries 2010). Mnoga istraživanja ukazuju na dobrobiti tjelesne i mentalne opuštenosti i simpatičko-parasimpatičke ravnoteže (Anderson 1987; Murphy i Donavon 1997; Brummel-Smith 2008). Iako mehanizmi djelovanja nisu još potpuno razjašnjeni, već postoje istraživanja i teorijske osnove koje ih postupno objašnjavaju (Humphries 2010; Terwagne i Bush 2011). Pozitivni tjelesni učinci uključuju povećanje tolerancije na bol, jačanje imunskog sustava te opuštanje mišića (Brummel-Smith 2008). Primijećeno je i smanjenje frekvencije srca, frekvencije disanja, lučenja adrenalina, kortizola i kolesterola. Osim navedenoga, postoji snažna korelacija stanja psihičke opuštenosti i moždane aktivnosti mjerene EEG-om, PET skenom i magnetnom rezonancom (Anderson 1987; Lous 1999). Kliničke studije pokazuju kako se tijekom stanja duboke relaksacije i smanjenja moždane aktivnosti značajno smanjuje anksioznost, depresija, ovisnosti te zlouporaba opojnih droga (Priddy i sur., 2018; Hamdani i sur., 2022; Kim & Kim, 2018; Manzoni i sur., 2008; Garland i sur., 2022). Uz to su se pokazala značajna poboljšanja kod hipertenzije, astme, tenzijske i migrenske glavobolje, epileptičnih napada, čireva, alergija, predmenstrualnih sindroma te deficita pozornosti kod hiperaktivnog poremećaja (Anderson 1987; Hardt 1994; Murphy i Donavon 1997; Travis 2001; Brummel-Smith 2008). Iz navedenoga se može zaključiti da je provjera učinkovitosti zvučno-vibracijske masaže vrlo zanimljiva tema vrijedna istraživanja u području sporta. S obzirom na to da ne postoje dostupne studije koje bi znanstvenim metodama utvrdile učinkovitost zvučno-vibracijske terapije u poboljšanju oporavka nakon intenzivne sportske aktivnosti, postoji potreba širenja saznanja unutar opisane teme. Ovo istraživanje je napredak u spoznaji koliko ova metoda doprinosi kvaliteti i brzini oporavka nakon intenzivne tjelesne aktivnosti. U nastavku uvodnog dijela disertacije, s ciljem boljeg razumijevanje konteksta i problematike istraživanja, opisane su njegove ključne komponente sljedećim redoslijedom: Kao prvi korak, nužno je definirati pojam umora nastalog intenzivnim sportskim treningom te biosignala kao neinvazivnih i preciznih fizioloških markera mjerenih u ovom istraživanju. Zatim je bitno promotriti umor s gledišta središnjeg (centralnog) živčanog sustava (SŽS ili CŽS, dalje u tekstu bit će korištena skraćena CŽS jer je SŽS također skraćena za simpatički živčani sustav) i autonomnog živčanog sustava (AŽS). Prvo je prezentiran CŽS, obuhvaćajući moždane valove kao markere stanja, a zatim pojašnjena povezanost umora CŽS-a i intenzivne sportske aktivnosti. Nakon toga, opisan je AŽS, uključujući simpatičku i parasimpatičku granu, te njihov odnos s umorom nakon intenzivne fizičke aktivnosti. Kao nezaobilazan marker stanja AŽS-a i mjeren

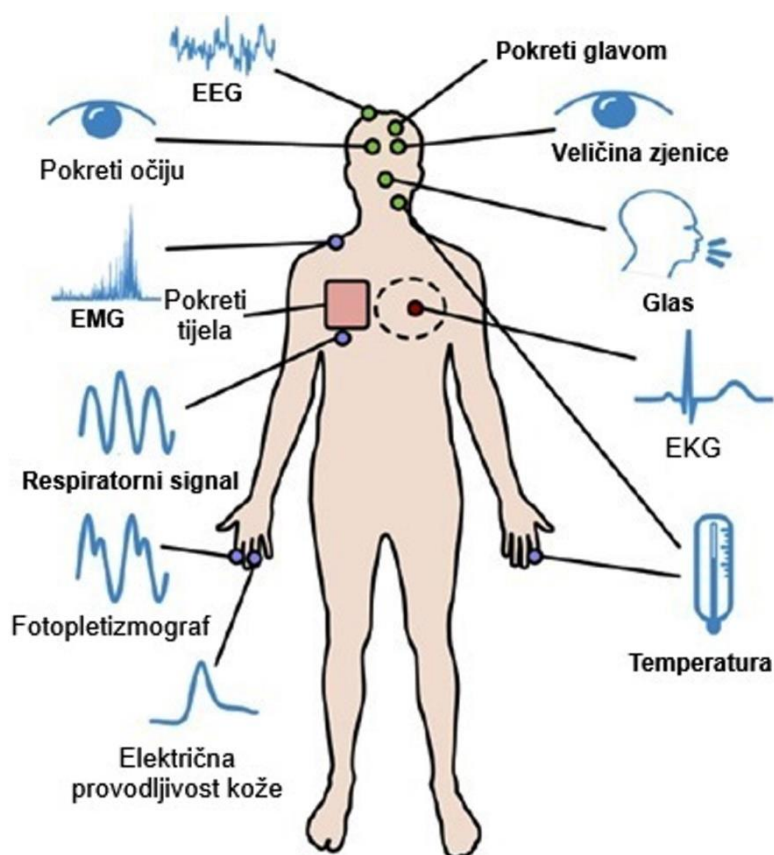
u ovom istraživanju, detaljnije je opisan i razrađen pojam varijabilnosti srčanog ritma. Nužan za razumijevanje konteksta utjecaja respiracije na varijabilnost srčanog ritma, a time i modalitet rada AŽS-a, pojašnjen je i fenomen respiratorne sinus aritmije (RSA). Budući da se ovo istraživanje bavi proučavanjem utjecaja zvučno-vibracijske terapije na oporavak nakon intenzivnog sportskog treninga, nastavlja se detaljnijom obradom pojmova „vibracija“ i „zvuk“ kao i njihove percepcije i utjecaja na ljudski organizam. Zatim slijedi opis utjecaja glazbe na psihofizičko stanje slušatelja nakon čega su razjašnjene suštinske razlike glazbene terapija, zvukoterapije i zvučno-vibracijska terapije (ZVT). Generatori zvučno-vibracijskih valova korišteni u ovom istraživanju su tibetanske zvučne zdjele, čijim detaljnim prikazom završava uvodno izlaganje.

Umor

Izraz "umor" često se pojavljuje u literaturi, ali rijetko uz sebe nosi i konkretnu definiciju. Evans i Lambert (2007) definiraju umor kao stanje fizičke i/ili mentalne iscrpljenosti nastalo tijekom aktivnosti, koje rezultira smanjenjem radne sposobnosti. Razvija se kao rezultat brojnih tjelesnih i metaboličkih prilagodbi u svrhu osiguranja dostatne količine potrebne energije za veće tjelesne i/ili mentalne napore. I mentalni i fizički umor nastaju kao posljedica izloženosti naporu, direktno su povezani i duboko međuvjetovani. Mentalni umor manifestira se kao nedostatak koncentracije, letargija i bezvoljnost, kao osjećaj iscrpljenosti, gubitka motivacije, poteškoća u donošenju odluka i usporavanju mentalnih procesa. Uzroci često uključuju nedostatak sna, emotivni stres, produženi intelektualni napor i izloženost prekomjernoj količini informacija (Torner-Aguilera i sur., 2022). Simptomi fizičkog umora uključuju, između ostalog, opću slabost i bol mišića, smanjenu kognitivnu i konativnu izvedbu, usporene reflekse, poteškoće u ravnoteži, povećanu osjetljivost na svjetlost, zvuk i bol, pad pH, promjene u srčanom i respiratornom ritmu te smanjenje jakosti i snage, a manifestiraju se različito i s obzirom na spol (Bishop i sur., 2008). Uzroci fizičkog umora složena su interakcija brojnih metaboličkih i neuroloških procesa. Metabolički uključuju iscrpljivanje zaliha fosfata, nisku razinu ATP-a, promjene u pH ravnoteži, pad razine glikogena i elektrolita, akumulaciju metaboličkih produkata i ureje, upalne i promjene u neurotransmitterskim sustavima središnjeg i perifernog živčanog sustava. Nivo umora direktno je povezan s vrstom, intenzitetom i trajanjem aktivnosti (Evans i Lambert, 2007). Ovaj složeni fenomen u pravilu ima i centralne i periferne uzroke (Dupuy i sur., 2018). Centralni umor povezan je s inhibicijom motoričkog korteksa dok periferni uzrokuju metaboličke promjene i poremećaji (Boerio i sur., 2005). Obje vrste umora daju svoj doprinos padu sposobnosti

izvedbe tijekom ili nakon treninga, i nije ih moguće egzaktno razdvojiti (Bishop i sur., 2008). Razumijevanje njihovih mehanizama ključno je za dizajniranje učinkovitih strategija oporavka, kontrole oštećenja mišića, ublažavanja pojave mišićnih bolova, smanjenja upalnih procesa, malaksalosti i zamora te razvijanje i implementaciju tehnika oporavka i adaptacije. Peake i Peake (2019) i Tornero-Aguilera i sur. (2022) ističu kako centralni i periferni umor čine dva međusobno povezana konstrukta integrativne teorije upravljanja, pri čemu su i psihološke i fiziološke potrebe temeljene na homeostatskim principima. Njihova relativna aktivnost regulirana je dinamičkom negativnom povratnom spregom kao temeljnim kontrolorom. Dodatno, kao što je već spomenuto, umor može proizaći i iz uzroka koji nisu nužno vezani uz fiziološke čimbenike. Primjerice nedostatak sna ili psihološki poremećaji izazvani stresom mogu utjecati na neuralnu aktivaciju, dovodeći do značajnog usporenja čak i jednostavnih mentalnih aktivnosti. Nadalje, prema Meeusen i sur. (2013), u kontekstu fizičke aktivnosti, ključno je prepoznati razliku između pretreniranosti i prekomjernog treninga. Razumijevanje ove razlike navodi se kao jedan od glavnih izazova u dijagnostici i sprječavanju sindroma pretreniranosti. Prekomjerni trening se uglavnom odnosi na pretjerivanje u treningu, ali osjećajući se umorno, sportaš je sposoban prilagoditi intenzitet i volumen smanjenjem obima vježbi. Pretreniranost se pak pojavljuje kontinuiranim izlaganjem intenzivnom treningu bez adekvatnog oporavka, što rezultira akumulacijom fizičkog stresa i potencijalno štetnim posljedicama za fizičko i mentalno zdravlje. Pretreniranost posljedično smanjuje sposobnost sportske izvedbe, povećava mogućnost sportskih ozljeda, donosi lošije raspoloženje i općenito lošije zdravstveno stanje. U težim slučajevima pretreniranost dovodi do značajnih sustavnih oštećenja koja potencijalno mogu imati i smrtni ishod. Upravo je svrha ovog rada naglasiti važnost prepoznavanja, prevencije i tretmana rane faze sindroma pretreniranosti kao složenog i multifaktorski uzrokovano fenomena, čime bi se prekomjerni trening pravovremeno zaustavio i spriječile daljnje negativne posljedice na zdravlje i pad sportskih performansi.

Biosignali



Slika 1 – Prikaz različitih izvora biosignala na ljudskom tijelu (Izvor slike - Giannakakis i sur., 2022)

Biosignali (biomarkeri) su impulsi ili signali generirani tijekom fizioloških procesa unutar i između različitih bioloških tjelesnih sustava. Reflektiraju električna, mehanička, akustična, optička, magnetska i kemijska svojstva različitih tkiva i organa u tijelu, u skladu s njihovim funkcijama i karakteristikama (slika 1). Dobivenim informacijama moguće je dijagnosticirati zdravstveno stanje organa i tjelesnih sustava, kao i provjeriti učinkovitosti metoda liječenja. Također su nezaobilazni u razvoju novih medicinskih i terapijskih pomagala i postupaka. Sve prisutnija je upotreba biosignala u detekciji psiholoških stanja poput stresa, tjeskobe i anksioznosti, praćenje kognitivnog opterećenja i slično (Chao i sur., 2011; Semmlow, 2018; Giannakakis i sur., 2022). Mjere se elektroencefalogramom (EEG), elektrokardiogramom (EKG) kao i sensorima elektrodermalne aktivnosti (EDA), elektromiografije (EMG), respiracije, govornih signala, temperature tijela, promjera zjenice, očne aktivnosti te položaja tijela (Giannakakis i sur., 2022). Ukratko, biosignal se definira kao pokazatelj mjerljivog biološkog procesa kojeg je moguće pretvoriti u električni signal. To je mjerljiva karakteristika

ili ponašanje koji ukazuju na prisutnost ili stanje živog organizma (Semmlow, 2018). Za potrebe ovog rada mjereni su; el. provodljivost kože, površinska temperatura kože, frekvencija srca, ritam i amplituda disanja, puls krvnog tlaka (*Blood Volume Pulse – BVP*), alfa i alfa/theta moždani valovi te markeri varijabilnosti srčanog ritma kao pokazatelji simpatovagalnog balansa i stanja AŽS-a.

Središnji živčani sustav

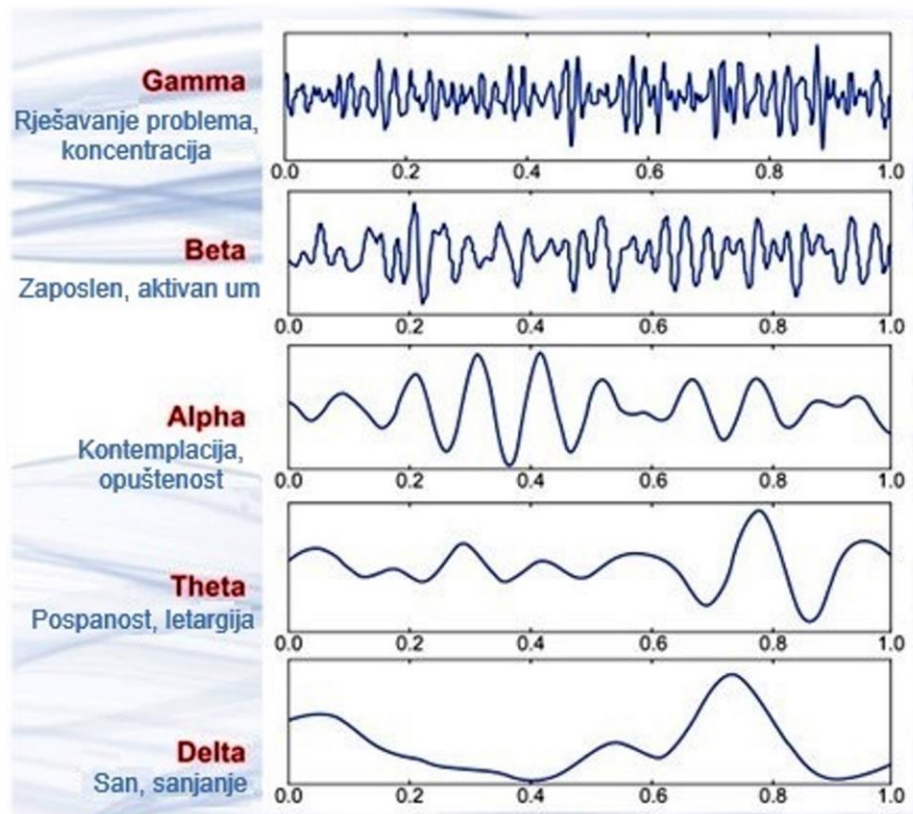
Središnji (centralni) živčani sustav (CŽS) čine mozak i leđna moždina. Igrajući ključnu ulogu u kontroli i koordinaciji tjelesnih funkcija, mozak je odgovoran za obradu informacija, donošenje odluka, pamćenje, svijest i mnoge druge kognitivne, kontrolne i upravljačke funkcije (Agnati i sur., 2023). Kralježnična moždina, kao posrednik prenošenja informacija između mozga i ostatka tijela, omogućuje motoričke funkcije i reflekse (Daly i sur., 2012). Još su rana istraživanja pokazala kako i akutna i kronična tjelesna aktivnost pozitivno koreliraju s učincima na funkciju mozga, što doprinosi poboljšanjima u kognitivnim sposobnostima (Hillman i sur., 2008; Chapman i sur., 2013). Mjerenja pokazuju značajan učinak čak i kraćeg aerobnog vježbanja, uz minimalan napredak u fizičkoj kondiciji, na neuroplastičnost neaktivnih odraslih osoba. Putem složene mreže dugoročnih i kratkoročnih međustaničnih interakcija, neuronskih veza i mišićne električne aktivnosti, CŽS ima presudnu ulogu u osiguravanju normalnog tijeka kognitivnih i motoričkih funkcija. Njegova zadaća uključuje centralnu inervaciju mišića generiranjem akcijskih potencijala u motoričkim neuronima kralježnične moždine, modulaciju receptivnog podražaja u višim motoričkim područjima kao i aktivaciju i koordinaciju motoričkih programa (Consorti i sur., 2021).

Moždani valovi

Moždani valovi su ritmički biološki elektromagnetski valovi stalno prisutni u mozgu (slika 2). Proizlaze iz simultane sinkronizirane aktivnosti velikog broja neurona (Roberts i sur., 2019). Imaju karakteristične frekvencije, amplitude i oblike, a povezani su s različitim stanjima svijesti, budnosti i aktivnosti mozga (Yen i sur., 2023). Bilježe se elektroencefalografijom (EEG), tehnike mjerenja električne moždane aktivnosti postavljanjem elektroda na površinu vlasišta. EEG uređaj mjeri razlike u električnim potencijalima mozga prikazanim u mikrovoltima (μV) (Usakli, 2010). Proučavanje moždanih valova predstavlja „prozor“ kroz koji je moguće promatrati aktivnosti mozga i kognitivnih funkcija. Kao takvi, nezaobilazan su alat u neuroznanosti, psihologiji, kliničkoj praksi i dijagnostici (Abhang i sur., 2016; Runco,

2014; Kopańska i sur., 2022; Bréchet i Michel, 2022). Standardno su podijeljeni u pet osnovnih vrsta kategoriziranih po frekvencijama (Cechetto i Topolovec, 2002).

1. **Delta valovi (ispod 4 Hz)** dominiraju dubokim snom, povezani su s regeneracijom i fizičkim oporavkom tijela.
2. **Theta valovi (4-7 Hz)** prisutni u fazama opuštanja, meditacije i dubokog sna.
3. **Alfa valovi (8-13 Hz)** prevladavaju tijekom opuštenog stanja i zatvorenih očiju. Također se javljaju u polusnu ili tijekom lagane faze sna.
4. **Beta valovi (14-30 Hz)** izraženi za vrijeme budnog stanja i aktivnosti, posebice tijekom koncentracije i mentalnog napora.
5. **Gama valovi (25-100 Hz)** povezuju se s procesima visoke kognitivne aktivnosti, zbog čega se smatra da igraju ulogu u funkcijama poput pažnje, pamćenja, motoričke kontrole, učenja i rješavanja problema. Njihova točna uloga i mehanizmi još nisu potpuno shvaćeni.



Slika 2 - Grafički prikaz moždanih valova (izvor slike - Abhang i sur.,2016)

U usporedbi sa stanjem mirovanja, mjerenja pokazuju rast moždane aktivnosti tijekom tjelesnog vježbanja u cijelom opsegu frekvencijskog spektra korelirajući s intenzitetom.

Također je vidljivo normaliziranje moždane valne aktivnosti potaknute vježbanjem, uključujući i alfa-aktivnost, u roku 5-10 (6) minuta po prestanku aktivnosti, a potpuna stabilnost, čak i u slučajevima ekstremnog disbalansa, postiže se u ne više od 20 minuta (Ciria i sur., 2018; Crabbe i Dishman, 2004). Iz razloga navedene brzine oporavka EEG markera, utjecaj bilo koje tehnike oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga na centralnu aktivnost je teško mjerljiv.

CŽS i umor nakon intenzivnog sportskog treninga

Središnji živčani sustav igra presudnu ulogu u regulaciji umora tijekom i nakon vježbanja (Bishop i sur., 2008). Andersson i sur., (2008) ukazuju da CŽS djeluje zaštitnički, sprečavajući pretjerano oštećenje mišića i organizma u cijelosti. Fizička aktivnost često rezultira pojavom centralnog umora i u mozgu, a ne samo u mišićima. Naime nespecificirani signali iz periferije mogu utjecati na kemijski sastav i aktivnost mozga što dovodi do smanjenja ili prestanka motoričke funkcije. Neke studije ukazuju na veću složenost centralnog zamora u usporedbi s perifernim. Noakes i sur. (2001) ukazuju na postojanje "centralnog upravitelja" u CŽS-u koji regulira tjelesnu sposobnost tijekom fizičkog rada. Prema njihovoj hipotezi, aferentne informacije iz srca, mozga i dišnih mišića dopiru do "upravitelja" i utječu na eferentni signal regulacije motoričkih performansi. Provedena istraživanja prepoznaju centralni umor kao rani znak prenaprezanja, što naglašava njegovu važnost kao zaštitnog mehanizma tijekom aktivnosti, kao i važnog faktora u procesu oporavka (Buchheit i sur., 2007). Gandevia (2001) istražuje nastanak umora uslijed nedostatka centralnog vođenja i distorziranih signala iz CŽS-a, a ne nužno zbog lokalnog zamora mišića. Naglašava spinalne i supraspinalne uzroke koji, kao važne upravljačke komponente mišićne aktivnosti, značajno doprinose pojavi mišićnog zamora. Uslijed ponavljajućih stimulusa i/ili pada mišićne sposobnosti održavanja intenziteta aktivnosti, centralni umor uzrokuje smanjenje efikasnosti veze mozga i mišića. Na primjer, tijekom dugotrajnog napora, zbog energetskog deficita, dolazi do inhibicije i pada kvalitete prijenosa signala mozak-mišić, što rezultira opadanjem sposobnosti kontrakcije i smanjenjem cirkulacije. Konačna posljedica takvog stanja je nemogućnost postizanja pune mišićne aktivnosti. Po sličnom obrascu, cerebralni umor može se očitovati i kao pad u pažnji, koncentraciji i brzini reakcije, slabljenju koordinacije, motoričke funkcije i slično. Međutim, važno je ukazati na postojanje različitih aspekata umora na kojeg razni kognitivni ili emocionalni fenomeni također imaju utjecaj. Na temelju pregleda prethodnih istraživanja, Gandevia (2001) također uviđa složeni mehanizam u pozadini mišićnog umora i ističe kompleksnost uloge spinalnog i supraspinalnog sustava. Iako su

istraživanjima utvrđeni neki mehanizmi i uzroci centralnog umora, mnogi od njih još uvijek nisu u potpunosti razumljivi. Meeusen i sur. (2006) kao prepoznatljive uzroke navode modifikacije u biokemiji mozga (npr. nakupljanje serotonina i promjene u razini neurotransmitera), metabolički stres, promjene u neuromuskularnim aferentnim ulazima, oscilacije u različitim funkcionalnim područjima mozga (npr. percepcija boli), vizualnom sustavu i kardiorespiratornoj regulaciji. Umor također može dovesti do kognitivnih promjena u mozgu i manifestirati se kao poremećaj ponašanja i/ili raspoloženja. Tako produljene akutne faze centralnog umora nerijetko dovode do poremećaja spavanja, depresije, osjećaja umora, problema u održavanju mentalne pažnje, kao i problema s održavanjem kognitivne budnosti. Iako manje proučavano u odnosu na mehanizam nastanka umora, postoje neki pokazatelji oporavka CŽS-a nakon fizičke aktivnosti. Tornero-Aguilera i sur. (2022) dokazuju povećanje razine neurotrofnih faktora tijekom oporavka, kao što je moždani neurotrofni čimbenik (engl. *brain-derived neurotrophic factor, BDNF*), ključan za održavanje životnog vijeka i funkcije neurona. Osim toga, tijekom oporavka raste sinteza i oslobađanje različitih spojeva u mozak, poput neurotransmitera, koji reguliraju njegovu funkciju, doprinose neuroplastičnosti, poboljšavaju kognitivne, konativne i motoričke sposobnosti te ubrzavaju sami oporavak CŽS-a. Sve adaptacijske promjene potaknute tjelesnom aktivnošću u i na tijelu, pa tako i u CŽS-u, dešavaju se tijekom oporavka. Iz navedenog je jasno vidljiva nužnost adekvatnog procesa oporavka kao ključnog faktora u ostvarivanju, kako svih benefita tjelesnog vježbanja, tako i u prevenciji i očuvanju zdravlja. Stanje CŽS-a mjeri se, između ostalog, i EEG-om, prateći frekvenciju, učestalost i amplitudu moždanih valova. U nastavku su opisani amplituda alfa valova, vršna frekvencija alfa valova (*Alfa peak frequency – APF*) i alfa/theta omjer kao pokazatelji stanja CŽS-a mjereni u ovom radu.

Amplituda alfa valova

Alfa valovi (AV) spadaju u moždane valove frekvencijskog opsega 8-12(13) Hz. Prisutni su u fizički neaktivnom, budnom ali opuštenom stanju sa zatvorenim očima. (Runco, 2014; Cechetto i Topolovec, 2002). Amplituda AV pokazatelj je snage i dominacije alfa valova u EEG spektru u određenom trenutku, ili drugim riječima veća alfa amplituda ukazuje na intenzivniju neuronsku aktivnost u alfa spektru (Su i sur., 2021). Martindale and Hasenfus (1978) su još 1978. godine primijetili veću amplitudu alfa valova tijekom kreativnog nadahnuća i sanjarenja, nego tijekom razrade pisanog zadatka. Promjene u alfa amplitudi također su povezane s različitim kognitivnim i emotivnim stanjima (Katyal i Goldin, 2021). Neke studije ukazuju da elektrokranijalna alfa aktivnost korelira s pojavom umora (Xavier,

2021) dok druge zaključuju suprotno (Anselm Ting Su i sur., 2023). Razlika je vjerojatno u metodologiji istraživanja. U okolnostima gdje, unatoč umoru, aktivnost mora biti nastavljena jednakim intenzitetom kao npr. kod liječnika tijekom bolničkog dežurstva, alfa aktivnost se smanjuje. S druge strane, ispitanici koji su s pojavom umora imali mogućnost smanjiti aktivnost i fokus, bez opasnosti prepuštanja umoru (kao npr. vožnja u simulatoru) aktivnost AV je rasla. Međutim mali se broj objavljenih istraživanja bavi odnosom alfa indexa i fizičke aktivnosti. Polazeći od skromnih dostupnih nalaza, čini se kako intenzitet, vrsta i trajanje fizičke aktivnosti značajno utječu na alfa amplitudu. Bailey i sur., (2008) primijetili su porast AV tijekom fizičkog treninga, s tim da je rasla aktivnost i u ostalom dijelu EEG spektra. Nakon prestanka rada došlo je do brzog pada EEG aktivnosti na početno stanje, što je potvrdila i studija Crabbe i Dishman, (2004). Naglo smanjenje alfa indexa sugerira kako promjene u EEG spektru možda ne sudjeluju značajno u procesima oporavka nakon tjelesne aktivnosti, ali mogu biti pokazatelji opuštenosti kao važnog uvjeta. Shibata i sur. (1997) povezuju porast alfa amplitude nakon tjelovježbe s miorelaksacijom. Istraživanje Kubitz i Mott (1996) primjećuje pad alfa i povećanje beta aktivnosti tijekom vježbanja što kvalificira tjelovježbu kao stresni podražaj, dok Chang i sur. (2014) primjećuju porast alfa tijekom umjerene aktivnosti. Griffiths i sur. (2005) ukazuju na povećanje alfa amplitude tijekom aktivnosti kod sportaša koji su u „zoni“. Naime, u streljaštvu, streličarstvu i golfu primijećen je porast alfa indexa tijekom mirnog i fokusiranog perioda nazvanog „zona“. Iz toga izvode pretpostavku da i u drugim sportovima, kao npr. judo, nogomet i kriket, dolazi do porasta alfa amplitude prilikom boravka u „zoni“. S druge strane, aktivnosti poput trčanja i dizanja utega zahtijevaju visoku razinu beta i gama valova, pa se alfa procentualno smanjuje. Kod fizički aktivnijih sportova, tijekom „zone“ alfa aktivnost se u omjeru podiže, ali nije dokazano da postaje dominantna. Ista studija također zaključuje kako specifični učinci tjelovježbe na alfa valove variraju ovisno o individualnim postavkama, intenzitetu i trajanju vježbe. Opširna pregledna studija Crabbe i Dishman (2004) u nekoliko pregledanih radova nalazi zabilježen porast alfa indexa i nakon aerobne i nakon anaerobne aktivnosti. Studije pokazuju najvidljivije povećanje alfa amplitude na kraju i neposredno nakon aktivnosti, nakon čega naglo pada. Povratak na početnu razinu dešava se u toku 5-10 (6) minuta nakon prestanka aktivnosti, a u roku od 20 minuta se potpuno stabilizira, ovisno o prirodi i intenzitetu aktivnosti. Uvidom u veći broj radova zaključuju da se moždana aktivnost brzo vraća u normalu poslije vježbanja. Crabbe i Dishman, (2004) zapažaju korelaciju alfa indexa i fizičkog rada primijetivši povećanje AV nakon dvadesetminutne umjerene tjelesne aktivnosti. Nužno je podvući kako većina istraživanja, osim u alfa oscilatornom području, primjećuje

promjene i na ostalim dijelovima EEG spektra. Zaključno, sukladno dosadašnjim spoznajama, različiti oblici tjelesne aktivnosti, različiti uvjeti ispitivanja i individualne razlike daju različite rezultate. Potrebna su dodatna istraživanja uz standardizirane metode mjerenja, kako bi se dobila konkretnija saznanja o ovom području.

APF - vršna frekvencija alfa valova

Vršna frekvencija alfa valova (*Alfa peak frequency - APF*) je područje u frekvencijskom alfa rasponu u kojem se bilježi njen najintenzivniji ritam/snaga (Ng i Raveendran, 2007; Pérez-Elvira i sur., 2021). Kod zdravih odraslih ljudi najčešće se nalazi između 9.5 i 11.5 Hz i usko je povezana s mentalnim sposobnostima (Ng i Raveendran, 2007; Katyal i Goldin, 2021). U kontekstu značajne genetske determiniranosti i izuzetno postojanost kod zdravih odraslih osoba, kvalificira se kao stabilni neurofiziološki marker osobnosti, stanja budnosti i pažnje pojedinca (Bazanova i sur., 2010). Budući da se vrijednosti mijenjaju od osobe do osobe, često se u radovima susreće pod nazivnom „*individual alpha peak frequency*“ - iAPF. Osim u slučajevima prakticiranja određenih tehnika koje mogu djelomično utjecati na njegov intenzitet, poput neurofeedback treninga, APF ostaje stabilan po nekim istraživanjima do adolescencije (Niedermeyer, 1999) po drugima se stabilizira tek u u 30-im godinama i stabilan je do prosječne sredine života (Pathak i sur., 2021), dok neki autori sugeriraju nepromjenjivost kod zdravih osoba čak do 80 godine života (Grandy i sur., 2013 a), nakon čega postupno opada. Imajući u vidu njegovu individualnost i stabilnost, vrlo mali broj radova istražuje korelaciju APF-a i fizičke aktivnosti. Ng i Raveendran (2007) uviđaju akutni pad iAPF- a uslijed fizičke aktivnosti, što smatraju korisnim u detekciji umora i učinkovitosti, zbog čega predlažu njegovu moguću primjenu u industriji i sportu. Autori su identificirali smanjenje iAPF-a nakon tjelesnog napora kao pokazatelja smanjene sposobnosti suočavanja CŽS-a u s izazovnijim zadacima. Gutmann i sur. (2015) pak primjećuju povećanje iAPF-a, kao neurofiziološkog markera stanja budnosti i pažnje pojedinca, nakon intenzivnog fizičkog vježbanja. Za razliku od intenzivnog treninga, on ostaje nepromijenjen nakon 30 minuta stabilnog kontinuiranog treninga i ne mijenja se niti nakon četiri tjedna sustavnog vježbanja unatoč poboljšanjima u tjelesnoj kondiciji. Prikupljeni rezultati ukazuju na doza-odgovor odnos između tjelesne dinamike i iAPF-a, implicirajući kratkotrajnu intenzivnu tjelesna aktivnost kao način povećanja iAPF, što pak ukazuje na mogućnost pozitivnih dugoročnih učinaka takve aktivnosti na mozak (Gutmann i sur., 2015). Christie i sur. (2017) uviđaju kako akutni fizički napor aktivira mehanizme u mozgu odgovorne za obradu informacija, što posljedično povećava iAPF. Postoje dokazi povezanosti iAPF-a s povećanjem aktivacije

mehanizama buđenja CŽS-a tijekom vježbe, uključujući promjene u neuralnoj aktivnosti u uzlaznom retikularno-aktivacijskom sustavu i petljama povratne informacije talamokortikalnog sustava (Gutmann i sur., 2015). Osobe s višim iAPF pokazuju kraće reakcijsko vrijeme (Jin i sur., 2006) bolje rezultate u radnoj memoriji (Grandy, i sur., 2013b; Clark i sur., 2004) i bolje rezultate u zadacima pamćenja (Klimesch i sur., 1993; Gutmann i sur., 2015). Međutim, trenutno postoji malo razumijevanja neurofizioloških mehanizama koji leže u osnovi učinaka vježbanja na kognitivnu obradu, te su potrebna daljnja istraživanja i mjerenja kao i zadani eksperimentalni standardi kako bi se dobili homogeniji rezultati (Jann i sur., 2010). Budući da su okolnosti dopuštale, vršna frekvencija alfa valova jedno je od naknadno dodanih mjerenja u ovom istraživanju. Njeno mjerenje napravljeno je iz informativnih razloga kako bi se omogućio uvid u ponašanje i ove varijable.

Alfa/theta omjer

Alfa/theta omjer predstavlja udio i omjer alfa (8-12 Hz) i theta (4-8 Hz) frekvencijskog opsega moždanih valova u spektru. Koristi se za procjenu spektralnih promjena tijekom kognitivnih i generalno mentalnih procesa (Zawiślak-Fornagiel i sur., 2023). Neka istraživanja ukazuju na inverznu vezu alfa i theta oscilacija, gdje je alfa povećanje povezano s smanjenjem theta snage i obrnuto. Ova veza primijećena je u različitim kontekstima, uključujući kognitivne sposobnosti zdravih odraslih ljudi (Trammell i sur., 2017) i tijekom prakse meditacije (Kim i sur., 2022; Özbek i sur., 2021; Katyal i Goldin, 2021). Alfa/theta veza, sudeći po dosadašnjim spoznajama, igra ulogu u kognitivnim funkcijama poput pamćenja, pažnje i izvršne kontrole. Postoje neslaganja u rezultatima istraživanja alfa/theta omjera u kontekstu opuštanja i stresa. Katyal i Goldin (2021) izvještavaju o povećanju alfa/theta omjera tijekom opuštanja s većim udjelom alfe, što sugerira izraženost alfa indexa tijekom opuštanja. Međutim, druga istraživanja vide upravo povećanje theta komponente tijekom opuštenog stanja i zaključuju da s dubljim stanjima opuštenosti raste i udio theta valova. Neslaganja u nalazima također proizlaze iz varijacija u eksperimentalnim protokolima, karakteristikama sudionika i tehnikama analize (Trammell i sur., 2017; Katyal i Goldin, 2021; Rodriguez-Larios i Alaerts 2021). Potrebna su daljnja istraživanja radi boljeg razumijevanja alfa-theta omjera i njegovog značaja u kontekstu opuštanja i stresa. Rijetko provedeno istraživanje odnosa tjelesne aktivnosti i alfa-theta omjera Zawiślak-Fornagiel i sur. (2023) pokazuje povećani alfa/theta omjer nakon intenzivnog vježbanja ukazujući na veću razinu uzbuđenja i spremnosti na vanjske podražaje, što implicira kako intenzitet i vrsta aktivnosti na njega imaju utjecaj.

Autonomni živčani sustav

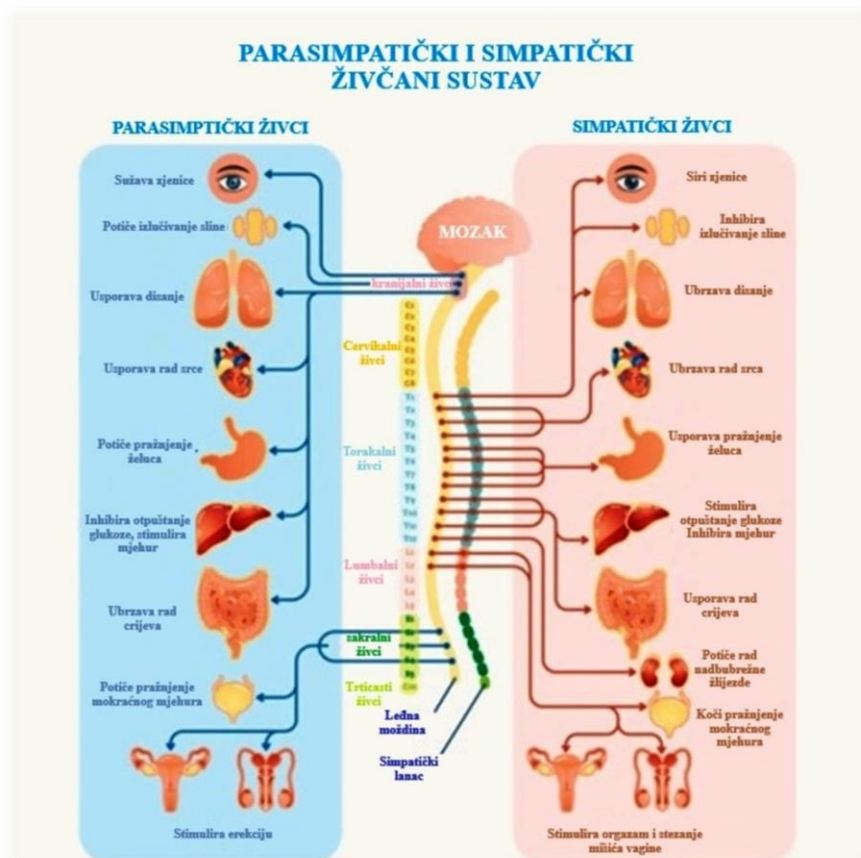
Autonomni ili vegetativni živčani sustav (AŽS) dio je perifernog živčanog sustava odgovornog za regulaciju unutarnjih funkcija kao što su rad srca, disanje, probava, cirkulacija, balans tekućina i elektrolita, seksualna aktivnost i razni drugi nesvjesni procesi. Centri se nalaze u kralježničnoj moždini, moždanom deblu i hipotalamusu. AŽS igra ključnu ulogu u održavanju homeostaze i prilagodbi tijela na različite okolnosti (Hall, 2020; Singh i sur., 2018). Sastoji se od tri glavne sastavnice: simpatički, parasimpatički i crijevni (enterički) živčani sustav (Fleming i sur., 2020; McCorry, 2007). Simpatikus kontrolira aktivaciju i mobilizaciju tijela dok je za opuštanje i obnovu zadužena parasimpatička grana sustava (Karthikeyan i sur., 2012).

Simpatički živčani sustav

Simpatički živčani sustav (SŽS) (slika 3) je sustav, ili možda bolje reći - konfiguracija postavki tjelesnih sustava, za borbu ili bijeg. Djeluje katabolički a pokreće se kao odgovor na obranu organizma. Aktivan je tijekom stresnih situacija i okolnosti koje zahtijevaju povećanu upotrebu energije. Povećava frekvenciju srca, muskularnu prokrvljenost, širi bronhije i zjenice, potiče oslobađanje energije, usmjerava pozornost na opasnost te generalno priprema i održava tijelo u pobuđenom stanju. Tijesno povezan s hormonima stresa, poput adrenalina i kortizola, SŽS igra vitalnu ulogu u adaptaciji organizma na različite uvjete okoliša (Waxman, 2017; Singh i sur., 2018).

Parasimpatički živčani sustav

Parasimpatička grana AŽS-a (PŽS) (slika 3) ima suprotan učinak simpatikusu (Tindle i Tadi, 2022; Singh i sur., 2018). Anabolički je i djeluje kao sustav za odmor i probavu. Omogućuje i potiče probavu, regeneraciju i oporavak. Aktivan je u opuštenom stanju, pogotovo noću. Usporava rad srca, sužava bronhije, usporava i produbljuje disanje, potiče rad endokrinih žlijezda, kreativno razmišljanje, sužava zjenice, aktivan je kod ugodnih emotivnih stanja (Mølgaard i sur., 1991; Task Force 1996; McCraty i Royall 2015). Ukratko, ova grana AŽS-a igra vitalnu ulogu u postizanju i održavanju unutarnje ravnoteže, obnovi tijela nakon izloženosti stresu te regeneraciji i oporavku.

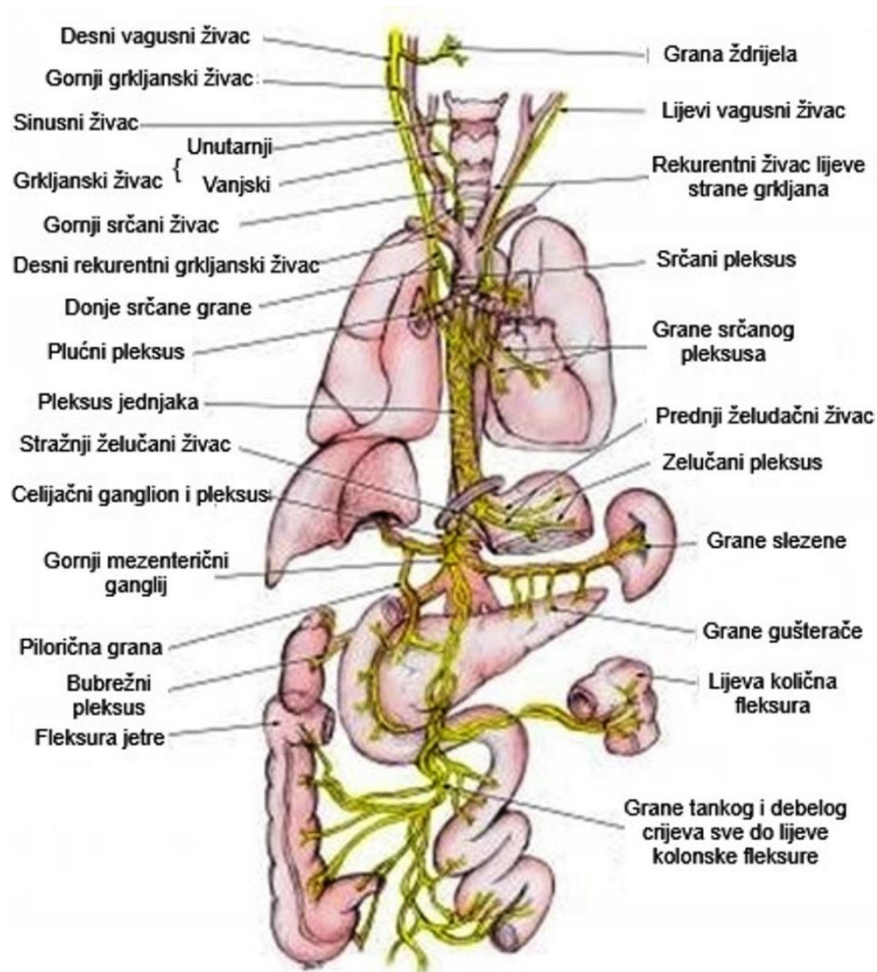


Slika 3 - Parasimpatički i simpatički živčani sustav (Izvor slike - <https://happyhealthyyou.com.au/blogs/articles/parasympathetic-sympathetic-nervous-system>)

Crijevni (enterički) živčani sustav (EŽS) regulira rad crijevnih i probavnih funkcija. S obzirom na to da EŽS, iako iznimno važan tjelesni sustav, nije direktno u fokusu ovog istraživanja, neće biti dalje spominjan.

Nervus Vagus

Ključnu ulogu u radu AŽS-a ima deseti kranijalni živac - nervus Vagus (slika 4) (Breit i sur., 2018; Howland, 2014). Kao glavni parasimpatički živac regulira simpatičko-parasimpatičku ravnotežu. Inervirajući gotovo sve unutarnje sustave, kontrolira rad srca, pluća, probavnih i drugih unutarnjih organa (Singh i sur., 2018). Stupnjem svog djelovanja kontrolira homeostazu i prilagodbu okolnostima poput reagiranja na stres ili opuštanja u mirnim trenucima (Porges, 1995; Breit i sur., 2018). Pojačana vagusna aktivnost aktivira PŽS dok njegova inhibicija dopušta i omogućava dominaciju SŽS-a (Goggins i sur., 2022). Iz tog razloga vagus se često naziva parasimpatički živac a parasimpatička aktivnost vagalna (Bonaz i sur., 2017).



Slika 4 - Nervus Vagus (Izvor slike - Tewfik, 2017)

Tijekom tjelesne aktivnosti tonus vagusa opada a nakon završetka raste. Amplituda promjene ovisi o vrsti i intenzitetu aktivnosti kao i o načinu i intenzitetu oporavka (Debenedittis i sur., 1994). Modulacija vagalnog tonusa pomaže očuvati dinamičku autonomnu regulaciju važnu kako za zdravlje srca i krvnih žila tako i organizma u cijelosti, dok nedostatak vagalne inhibicije dovodi do povećanog morbiditeta (Thayer i sur., 2010).

Simpatički i parasimpatički odgovor na trening i oporavak

Simpatički odgovor na fizički napor uvjetovan je intenzitetom, trajanjem i vrstom aktivnosti. Istraživanja sugeriraju korelaciju simpatičke aktivnosti i tjelovježbe, posebice pri vježbanju visokog intenziteta ili vježbanju koje izaziva zamor (Lee i sur., 2023; Haarmann i sur., 2016). Intenzivna tjelesna aktivnost izaziva značajno drugačiji fiziološki odgovor u odnosu na umjerenu. Uspoređujući fizičke aktivnosti različitih protokola intenziteta i vremena, Kaul i sur. (2019) uviđaju snažniji simpatički odgovorom s posljedično većom inhibicijom vagalne kontrole tijekom intenzivnijeg i kraćeg treninga. Pri niskim i umjerenim intenzitetima, potrebe

za energijom zadovoljavaju se oksidativnim putem, a početni porast otkucaja srca prati povlačenje PŽS-a. Pri visokim intenzitetima prevladava fosfageni i glikolitički režim kojeg modulira tada dominantna simpatička aktivnost. Slijedom toga, perspiracija, lipoliza, glukoneogeneza i druge karakteristične reakcije uglavnom potiču od jačanja aktivacije SŽS-a, a ne dodatnog vagalnog povlačenja (White and Raven, 2014; Michael i sur., 2017). Primjerice Stanley i sur. (2013) opažaju linearnu vezu aktivnosti većeg intenziteta i povećanja vagusne supresije te naknadnog sporijeg oporavka, u usporedbi s vježbanjem niskog i umjerenog intenziteta. Nastavno, Michael i sur. (2017) uviđaju usporen oporavak vagalnog indeksa tijekom akutnog oporavka od vježbanja duljeg trajanja, bez utjecaja na oporavak same frekvencije srca (FS). Prema tome ponovno uspostavljanje parasimpatičke regulacije nakon aktivnosti obrnuto korelira s njenim intenzitetom i ekstenzitetom. Iako se simpatička pobuda povlači brzo nakon prestanka aktivnosti, povratak vagusnog tonusa je značajno sporiji (Kaikkonen i sur., 2007; Martinmaki i Rusko, 2007; Michael i sur., 2016). Jednostavno rečeno veći zamor – dulji oporavak. Iz navedenog je zanimljivo primijetiti kako povratak FS-a u stabilno stanje ne ukazuje nužno i na povratak AŽS-a u ravnotežu. Prema Goldberger i sur. (2006) parasimpatička reaktivacija može biti koristan pokazatelj oporavka nakon tjelesne aktivnosti. Naime, RMSSD - drugi korijen srednje vrijednosti uzastopnih razlika NN intervala srčanog ritma, (*Root mean square of successive differences between normal heartbeats* – RMSSD, opisan dalje u tekstu i korišten kao ključna varijabla u istraživanju) u post-aktivnom periodu je koristan pokazatelj parasimpatičkog oporavka za određivanje kardiovaskularne funkcionalnosti nakon tjelesnog napora. Slijedom toga, spoznaje o reaktivaciji PŽS aktivnosti nakon treninga imaju implikacije na propisivanje protokola cjelokupnog trenažnog procesa (Kannankeril i sur., 2004). U svojoj studiji Saito i Nakamura (1995) također uviđaju progresivni pad vagusnog tonusa s povećanjem intenziteta vježbanja kao i inverznu korelaciju s promjenama u simpatičkoj aktivnosti. Valja napomenuti da je simpatovagalna veza tijekom fizičkog napora pod utjecajem brojnih čimbenika, te da taj odnos ostaje još uvijek neadekvatno razjašnjen. U okvirima dosadašnjih spoznaja mehanizam može biti objašnjen biokemijskim procesima i promjenama u pH razini sustava na koje utječu barorefleks i mehanoreceptori unutar mišićne strukture. S obzirom na blisku povezanost vagusnog tonusa i respiracije, povremeno se primjećuju promjene i parasimpatičke i simpatičke aktivnosti tijekom fizičkog napora uslijed promjena u ritmu i dubini disanja (Saito i Nakamura, 1995). Postoje još mnoge nejasnoće vezane za čimbenike koji pokreću i inhibiraju autonomnu srčanu kontrolu, pogotovo kada je u pitanju tjelesna aktivnost. Međutim sve studije se slažu kako inhibicija SŽS-a i aktivacija PŽS-a odnosno povećanje njihovog

omjera u smjeru PŽS-a nedvojbeno ukazuje na oporavak. Brže i značajnije povećanje parasimpatičke aktivnosti ukazuje na pojačani oporavak i brži prijelaz u stanje rekuperacije "odmora i probave". Inhibicija simpatikusa neposredno nakon treninga igra važnu ulogu u smanjenju srčane frekvencije i usporenju tjelesnih funkcija, no vagalna aktivnost ima presudnu ulogu u naknadnom oporavku cijelog sustava (Savin i sur., 1982). Slijedom navedenog, oporavak parasimpatičkog srčanog ritma uključuje više čimbenika ključnih za procjenu statusa oporavka sportaša. Stoga je važno standardizirati varijable i postupke mjerenja s ciljem osiguranja preciznijih i relevantnijih rezultata (Stanley i sur., 2013).

Dinamični autonomni odnos

U normalnom radu zdravog srca parasimpatička i simpatička grana pokazuju dinamičku interakciju (Shaffer i Ginsberg, 2017). U stanju mirovanja PŽS dominira, što rezultira prosječnim brojem od 60-90/100 otkucaja u minuti ovisno o dobi, spolu, rasi, tjelesnoj formi, zdravstvenom statusu i sl. (Mason i sur., 2007; Avram i sur., 2019; American Heart Association, 2024). Uz određene uvjete vagus može usporiti otkucaje na 20 – 30 (Tortora i Derrickson, 2017; Olshansky i sur., 2008) pa čak i privremeno zaustaviti. Na primjer u slučajevima vazovagalne sinkope nagli porast vagalne aktivnosti dovodi do naglog pada srčanog ritma i krvnog tlaka, što može dovesti do gubitka svijesti (Gopinathannair i sur., 2018; Kinsella i Tuckey, 2001). Atipična aktivnost vagusa može nakratko zaustaviti srčani ritam i tijekom jako visokog intenziteta treninga (Hirata i sur., 1987; Whitaker et al., 2011) ili drugog razloga neuobičajeno intenzivne vagusne pobude (Sheldon i sur., 2015). Međutim, takvi slučajevi su rijetki i obično privremeni, a srčani ritam se brzo vraća u normalu (Hart, 2015; Avram i sur., 2019). Budući da SŽS i PŽS djeluju antagonistički, njihov utjecaj na srce ovisi o trenutnoj međusobnoj ravnoteži. SŽS u pravilu inhibira parasimpatikus, ali isto tako može potaknuti i njegovu reaktivnost (Gellhorn, 1957; Stanley i sur., 2013; Dupuy i sur., 2021). Simpatovagalni odnos je složen (linearan i nelinearan) i ne bi se trebao promatrati crno-bijelo. Danas je već općeprihvaćena činjenica kako ove grane AŽS-a mogu biti istodobno aktivne (Berntson i Cacioppo, 1999; Weissman i Mendes, 2021). Povećana aktivnost PŽS-a može biti dinamički povezana sa smanjenjem, povećanjem ili nepromijenjenim stanjem aktivnosti SŽS-a. Na primjer, neposredno nakon treninga dolazi do reaktivacije PŽS-a dok aktivnost SŽS-a može ostati i dalje povišena ili obrnuto (Billman, 2013; Billman i sur., 2015). To je slično kao kad vozač Formule 1 vješto manevrira vozilom dok ubrzava kroz zavoj, spretno stišćući desnom nogom papučicu gasa dok lijevom istodobno nježno pritišće kočnicu. Složen odnos aktivnosti SŽS-a i PŽS-a rezultira oscilacijama u

autonomnoj raspodjeli snage (Billman, 2013). U cilju sveobuhvatnijeg razumijevanja njihovog utjecaja na autonomnu regulaciju, treba istaknuti značajno bržu manifestaciju učinaka parasimpatičkih živaca (<1 s) od simpatičkih (>5 s) (Nunan i sur., 2010). Tijekom fizičke aktivnosti dolazi do promjena u AŽS-u koje se, između ostalog, mogu očitati iz promjena u simpato-vagalnom balansu (Perini i sur., 1990). Intenzitet i ekstenzitet fizičke aktivnosti uzrokuje i definira promjene u njihovom omjeru. White i Raven (2014) dokazuju da PŽS ostaje aktivan tijekom vježbanja, a porast FS od mirovanja do maksimalnog intenziteta proizlazi iz rastuće tranzicije u ravnoteži 4:1 vagalno-simpatičkog prema 4:1 simpatičko-vagalnog odnosa. Nadalje, kontrola RR intervala ovisi o sposobnosti moduliranja FS od strane PŽS-a kojeg progresivno ograničava povećanje simpatičke aktivnosti sukladno s povećanjem radnog opterećenja. Na kraju zaključuju: (i) porast FS-a povezane s radnim opterećenjem ne uzrokuje potpuno povlačenje PŽS-a uslijed povećanja simpatičkog tonusa; (ii) uzajamna suprotnost ključna je za prijelaz iz vagalne u simpatičku dominaciju, i (iii) prilagodba arterijskog barorefleksa uzrokuje trenutni refleksni porast FS-a moduliranog parasimpatikusom, nakon kojeg slijedi sporiji porast simpatičkog tonusa s porastom radnog opterećenja. Aktivnost intenziteta 30% VO_2max pokazala se kao svojevrsan prag prilagodbe kardiovaskularnog sustava (Perini i sur., 1990). Prelaskom ovog praga sustav se budi i primjećuju se promjene u autonomnoj aktivnosti (Nakamura i sur., 1993). Pri intenzitetu 30% VO_2max , parasimpatikus dominira. Posljedično, broj otkucaja je stabilan a simpatički sustav ostaje relativno miran uz blagi porast koji odgovara intenzitetu (Kannankeril i sur., 2004). Pri razini 50 % - 60% VO_2max vagalna aktivnost i dalje igra važnu ulogu, ali simpatički sustav preuzima istaknutiji utjecaj. Neke studije pokazuju da PŽS ovdje doseže minimum i ostaje stabilan, dok druge sugeriraju postupno smanjuje PŽS sve do 100% VO_2max . Porastom intenziteta SŽS značajno raste i odgovoran je za daljnji porast pulsa. Dolaskom na 100% VO_2max simpatički sustav dominira a srčana frekvencija brzo raste kako bi osigurala dovoljnu količinu kisika. PŽS je na minimalnoj razini i kao takav ostaje stabilan bez obzira na daljnje povećanje intenziteta. Nakon prelaska anaerobnog praga, na 110% VO_2max i više – simpatička aktivnost naglo raste i taj intenzitet, ovisno o daljnjem povećanju, ne može više dugo trajati (cca 30 sec do 3 min) (Yamamoto i sur., 1991; Perini i sur., 1990). SŽS dominira i u slučajevima iscrpljenosti od dugotrajne aktivnosti, ako se aktivnost nastavlja, bez obzira na to što je intenzitet izvođenja niži (Nakamura i sur., 1993). Varijabilnost srčanog ritma je mjerljiv odraz ravnoteže simpatičkog i parasimpatičkog tonusa (Singh i sur., 2018).

AŽS i umor nakon intenzivnog sportskog treninga

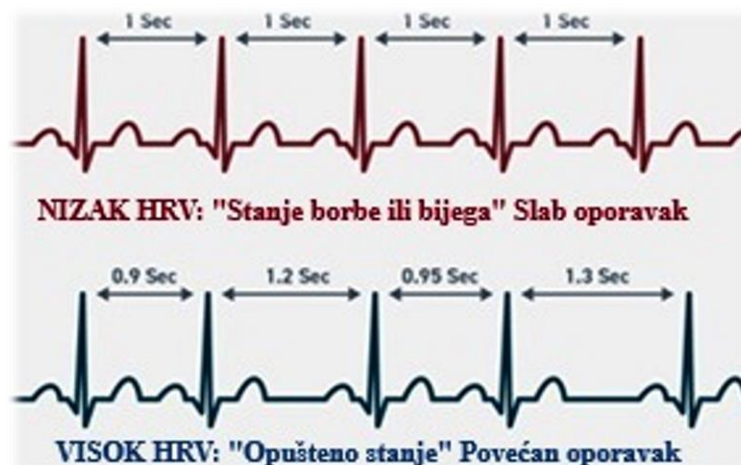
Umor nakon tjelesnog napora usko je povezan s autonomnim živčanim sustavom.

Periferni umor manifestira se smanjenjem mišićne radne sposobnosti u toku i/ili nakon fizičke aktivnosti. Uzroci uključuju promjene u procesima mišićnog metabolizma, nakupljanje metabolita, iscrpljivanje zaliha glikogena, nedostatak kisika i oštećenje mišićnih vlakana, posebice u situacijama visokog intenziteta (Matei i sur., 2022; Bishop i sur., 2008; Peake i Peake, 2019). AŽS igra ključnu ulogu u regulaciji različitih fizioloških procesa i održavanju homeostaze. Intenzivno vježbanje narušava taj balans redukcijom djelovanja PŽS-a što u konačnici rezultira umorom, pogotovo uz visok stupanj anaerobnih procesa i popratnih metabolita (Meeusen i sur., 2013; Buchheit i sur., 2007). Ovisno o tipu aktivnosti, periferni umor se može širiti na respiratorne mišiće izazivajući "umor pluća". Smanjenje razine kisika u sustavu potiče pobudu SŽS-a dizanjem razine adrenalina, noradrenalina i kortizola. Takav hormonski odgovor dodatno narušava homeostatsku ravnotežu (Pageaux i sur., 2015). Povećana simpatička aktivnost, visok postotak adrenergičkih faktora i lokalnih metabolita usporavaju vraćanje vagalnog tonusa nakon opterećenja. Prema tome umor nakon fizičke aktivnosti posljedica je narušene autonomne ravnoteže i naknadnih procesa oporavka uvjetovanih karakteristikama te aktivnosti. S druge strane, uz adekvatan odmor, oporavak i regeneraciju, vježbanje ima pozitivne učinke na AŽS, uključujući kronično povećanje vagalnog tonusa i smanjenje simpatičke aktivnosti, što posljedično povećava varijabilnost srčanog ritma. Periferni umor razlikuje se od centralnog (Ng i Raveendran, 2007). Metabolički procesi dovode do periferne inhibicije koja uzrokuje slabljenje aferentne povratne sprege, smanjujući pritom sposobnost adekvatne centralne aktivacije motornih neurona. Na taj način smanjena radna sposobnost mišića stvara osjećaja umora i iscrpljenosti tijekom i/ili nakon vježbanja. Posljedično, pojavom perifernog umora, ovisno o karakteristikama aktivnosti, inhibicija aferentne povratne sprege dovodi do supresije aktivnosti središnjeg motornog sustava, što uzrokuje pojavu umora CŽS-a (Tornero-Aguilera i sur., 2022; Amann i sur., 2013). Iz tog razloga razumijevanje perifernog umora ključno je za oblikovanje optimalnih modaliteta oporavka nakon treninga. Ovi zaključci ukazuju na važnost pravilnog planiranja tjelesne aktivnosti, uvažavanja umora i oporavaka koji slijedi integrirajući ga trenažni proces, kako bi se očuvao i osnažio zdrav i uravnotežen AŽS (Matei i sur., 2022). Stanje AŽS-a utvrđuje se mjerenjima biosignala poput varijabilnosti srčanog ritma, provodljivosti kože, površinske temperature, respiratornih signala, frekvencije srca, pulsa krvnog tlaka (*blood volume pulse* - BVP), itd. U nastavku je opisana varijabilnost

srčanog ritma kao vrednovani pokazatelj stanja AŽS-a u ovom istraživanju, a nakon toga slijedi opis ostalih mjerenih pokazatelja: frekvencije srca, frekvencije i amplituda disanja, BVP, električna provodljivost i površinska temperatura kože te koherencija srčano-respiratornog sustava.

Varijabilnost srčanog ritma

Ritam srca ili srčana frekvencija predstavlja broj srčanih otkucaja u minuti. Varijabilnost srčanog ritma (*heart rate variability* - HRV) definira se kao fiziološka varijacija u trajanju intervala između sinusnih otkucaja (slika 5) (McCarty i Shaffer, 2015; Klarić, 2016). HRV odražava združeni utjecaj simpatičkog i parasimpatičkog tonusa na razmak između otkucaja, što se manifestira promjenom srčane frekvencije (slika 6). Kao takav, mjerljiv je i pouzdan pokazatelj kardiovaskularnog integriteta, stanja organizma i prognoze (Singh i sur., 2018; Robinson i sur., 1966).



Slika 5 – Prikaz simpatičke (gore) i parasimpatičke (dolje) varijabilnosti srčanog ritma (<https://fascatcoaching.com/blogs/training-tips/hrv-heart-rate-variability>)

Zdravo srce nije metronom. Oscilacije rada zdravog srca su složene i nelinearne a se najbolje opisuju matematičkim kaosom (Shaffer i sur., 2014; Goldberg, 1991). HRV indeksira neurokardiološku funkciju, odražava stanje autonomne ravnoteže, krvnog tlaka, izmjene plinova, probavnog sustava, srca, vaskularnog tonusa i drugih sustava. Generira se interakcijom srca i mozga te dinamičkim linearnim i nelinearnim procesima AŽS-a. Varijabilnost srčane frekvencije je rezultat djelovanja međusobno povezanih regulatornih sustava na različitim vremenskim skalama, omogućavajući pravodobnu prilagodbu uvjetima okoliša i psihološkim izazovima (Schwartz i Andrasik, 2017; Beckers i sur., 2006). AŽS ne inicira direktno srčane otkucaje, ali ima utjecaj na prilagodbu ritma i intenziteta kontrakcije.

U odsustvu njegove modulacije, autonomna srčana frekvencija oscilira između 90 i 107 otkucaja u minuti, ovisno o starosnoj dobi, individualnim karakteristikama i kontekstu (Opthof, T. 2000). Simpatičkom pobudom broj otkucaja srca katkad doseže do 230 u minuti, a kod visoko treniranih sportaša nerijetko i prelazi tu granicu. PŽS vagusnim djelovanjem inhibira simpatički podražaj i intrinzični ritam, reducirajući tako srčanu frekvenciju, ovisno o stupnju tjelesne kondicije. Kod vrhunskih sportaša u nekim disciplinama, srčana frekvencija u mirovanju može pasti čak i ispod 30 otkucaja u minuti. Dakle, autonomna srčana regulacija ne utječe direktno na broj, nego na vremenski razmak između otkucaja (Klarić, 2016). Vrijeme odgovora srca na simpatičku stimulaciju relativno je sporo. Potrebno je oko 5 sekundi za povećanje brzine otkucaja srca nakon početka simpatičke stimulacije i 20 do 30 sekundi za dostizanje stabilne maksimalne „zadane“ frekvencije. Nasuprot tome, vrijeme odgovora srca na vagusni poticaj gotovo je trenutačno (manje od 1 sec). Samo jedan impuls može izazvati promjenu HRV-a od 400ms. Ovisno o trenutnoj fazi srčanog ciklusa, potrebno je tek par otkucaja prije nego srce uspori na minimum, proporcionalno razini stimulacije (SA-3000P Clinical Manual; Malik i sur., 1996). Reagirajući na unutarnje i vanjske podražaje, dinamička ravnoteža simpato-vagalnog djelovanja kontinuirano se mijenja u nastojanju postizanja savršenog balansa. U stanju mirovanja, i simpatički i parasimpatički živci su aktivni, s prevladavajućim učincima vagusa. (SA-3000P Clinical Manual; Goldberg, 1991). Dinamičko vježbanje, ovisno o trajanju i intenzitetu, rezultira padom HRV-a u apsolutnoj snazi spektra. Studija Arai i sur., (1989) pokazuje da unatoč velikoj razlici u apsolutnim vrijednostima RR intervala, s povećanjem intenziteta aktivnosti varijabilnost značajno pada. Veći intenzitet uzrokovao je srazmjerno veći pad varijabilnosti te njen sporiji povratak u prvobitno stanje (Perini i sur., 1990). Analiza HRV-a služi kao dinamički „prozor“ kroz koji je moguće pratiti autonomnu funkciju i balans. (Aubert i sur., 2003; Casciaro i sur., 2013). Manja varijabilnost sugerira potencijalnu disfunkciju tjelesnih funkcija, dok veći HRV pretpostavlja bolje zdravstveno stanje i bolju fizičku kondiciju. Prepoznavanje važnosti ovog fenomena dovelo je 1996. godine do postavljanja međunarodnih mjernih standarda mjerenja HRV-a (Task Force, 1996). Tako su stvoreni preduvjeti upotrebe varijabilnosti srčanog ritma kao neinvazivnog dijagnostičkog alata autonomne elastičnosti i psihološke fleksibilnosti, odražavajući pri tom široku zdravstvenu sliku pojedinca, kao i sposobnost adaptacije na stres i zahtjeve okoline. (Klarić, 2016). HRV je pod utjecajem mnogih unutarnjih i vanjskih faktora (Valentini i Parati, 2009). Na temelju pregledane literature Fatissou i sur. (2016) identificiraju pet glavnih kategorija čimbenika utjecaja na varijabilnost srčane frekvencije:

1. *Fiziološki i patološki čimbenici* - stanje AŽS-a, način disanja, hipertenzija, šećerna bolest, hipotireoidizam, srčane bolesti, epilepsija, moždani udar, srčani infarkt, srčana insuficijencija, rak, sustavne upalne bolesti, bolesti jetre, bubrega i žuči te autoimune bolesti.
2. *Neuropsihološki čimbenici* - stres i emocionalne reakcije, anksioznost, depresija i PTSP, prisutnost ili odsutnost socijalne podrške.
3. *Neizmjenjivi čimbenici* - dob, spol, genetika, etnička pripadnost i obiteljska povijest.
4. *Čimbenici načina života* - prehrana, tjelesna aktivnost, tjelesna masa, konzumirane tvari poput alkohola, duhana i kofeina.
5. *Čimbenici okoliša* - vanjska temperatura, buka, onečišćenje zraka, nadmorska visina, vlažnost zraka.

Respiratorna sinus aritmija

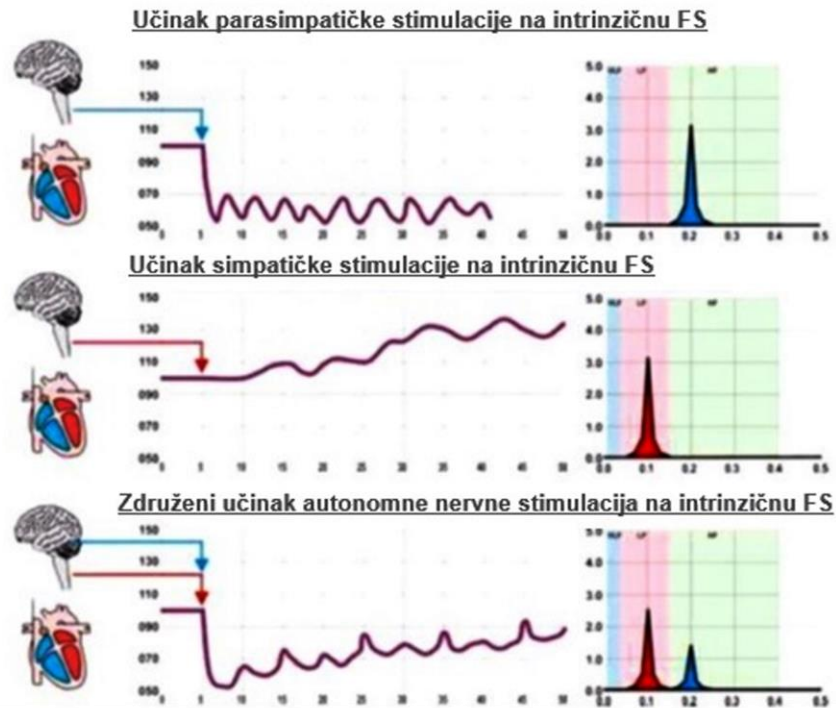
Respiratorna sinus aritmija (RSA) reprezentira kardiovaskularni fenomen svojstven sisavcima, a odnosi se na sinkronizaciju fluktuacija srčanog ritma i duljine trajanja pojedinih RR intervala s respiracijom (Grossman i Taylor, 2007; Larsen et al., 2010). Udah pobuđuje simpatičku aktivnost što ubrzava puls, skraćuje RR intervale i posljedično smanjuje varijabilnost. S druge strane izdah potiče parasimpatičku aktivnost, produžuje razmak između otkucaja i usporava srčani ritam, što rezultira povećanjem HRV-a. Odnos respiracije i rada srca također ovisi o frekvenciji i amplitudi disanja (Eckberg, 1983; Yasuma i Hayano, 2004). Ukratko, respiratorna sinus aritmija je fenomen generiran interakcijom kardiovaskularnog i respiratornog sustava (Grossman i Taylor, 2007; Klarić 2016).

Mjerenje HRV-a

Mjerenje HRV-a provodi se osjetljivim senzorima elektrokardiograma (EKG) ili fotopletizmografije koji dovoljno precizno (mjereno u milisekundama) detektiraju interval između srčanih otkucaja (*interbeat interval* - IBI) (Thomas i sur., 2019). RR interval predstavlja vremenski razmak dva uzastopna R vala, dok NN intervali reprezentiraju razmak između normalnih otkucaja, isključujući ektopične (Singh i sur., 2018). HRV se mjeri točno i reproducibilno metodom vremenske i frekvencijske domene, te nelinearnim metodama.

Kompleksnost neuralne mreže zadužene za koordinaciju srčanih otkucaja omogućuje selektivnu analizu različitih unutarnjih i vanjskih utjecaja (slika 6). S druge strane, to interpretaciju čini zahtjevnijom jer su nužni jasni i "sterilni" uvjeti kako bi se isključili artefakti. Za relevantne i iskoristive rezultate važni su precizno standardizirani testovi uzimajući u obzir cijeli kontekst, uključujući ritam disanja, položaj tijela, blage pokrete,

mentalnu aktivnost, temperaturu i vlažnost prostorije, cirkadijalni ritam, stimulanse, moguće distrakcije itd. Rezultati također moraju biti usklađeni s dobi i spolom (Task Force 1996, Shaffer i Ginsberg, 2017; Mølgaard i sur., 1991; Kumar i sur., 2020). Važno je naglasiti da HRV indeks prvenstveno odražava vagalnu funkciju (Kiyono i sur., 2016). Uzimajući u obzir njihovu kompleksnost, pojedinačne mjere varijabilnosti ne mogu se vaditi iz konteksta, nego se procjenjuju uz druge parametre (npr. frekvencija srca, respiracija, ostali HRV markeri) kako bi se dobila potpunija i preciznija slika (Task force 1996).



Slika 6 – Učinak simpatičke (gore), parasimpatičke (sredina) i kombinirane (dolje) stimulacije na intrinzičnu frekvenciju srca - (Izvor slike - SA-3000P Clinical Manual)

Vremenska domena analize HRV-a

Najstarije i najjednostavnije metode analize varijabilnosti srčanog ritma vezane su za vremensku domenu (slika 5). Uključuju prosječnu brzinu otkucaja srca, ciklus, razliku i/ili omjer najkraćeg i najdužeg NN-intervala na snimljenom EKG-u (Kleiger i sur., 1992). Različite statističke varijable računaju se izravno iz NN intervala ili njihovih razlika (Kleiger i sur., 2005; Thomas i sur., 2019). Računalno pohranjivanje podataka i obrada signala uz vremensku analizu NN intervala omogućuju korištenje sofisticiranijih pristupa temeljenih na statističkim izračunima. Kao rezultat dobivene su varijable poput standardne devijacije uzastopnih NN intervala (SDNN), standardne devijacije 5-minutnog prosjeka NN intervala (SDANN), kvadratnog korijena srednjih razlika uzastopnih NN intervala (RMSSD), broj parova NN intervala različitih za više od 50 milisekundi (NN50) i postotka NN50 intervala u

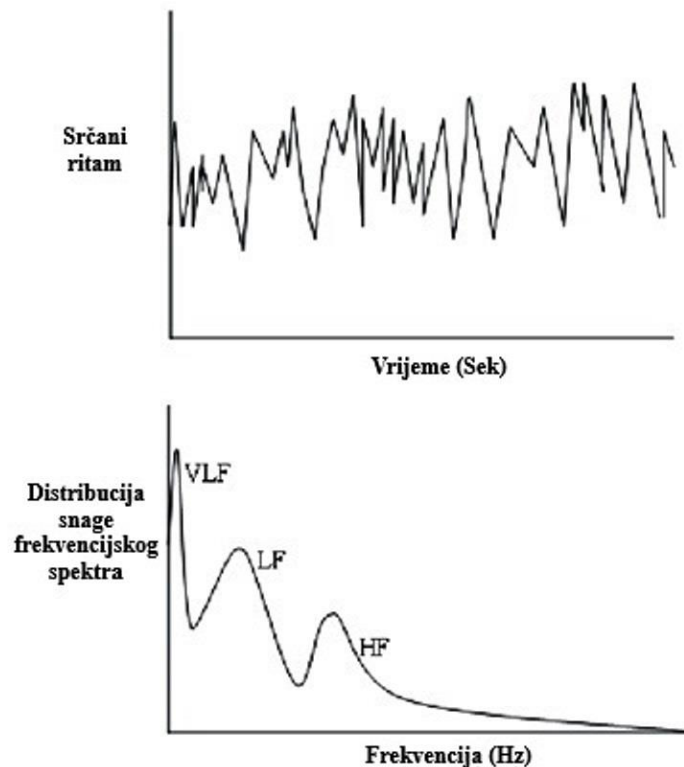
ukupnom broju NN intervala (pNN50) (SA-3000P Clinical Manual). Dulji vremenski intervali mjerenja pružaju dublji uvid u procese sporijih fluktuacija kao što su cirkadijalni ritmovi, dugotrajnija radna opterećenja te odgovor kardiovaskularnog sustava na širi raspon podražaja okoliša. Mjerene vrijednosti kraćih vremenskih razdoblja pak više ukazuju na trenutnu situaciju u određenim okolnostima, jer odražavaju procese bržih oscilacija i odgovor kardiovaskularnog sustava na uži i ciljani raspon podražaja okoliša i/ili radnog opterećenja (Tarvainen i sur., 2017).

Frekvencijska domena analize HRV-a

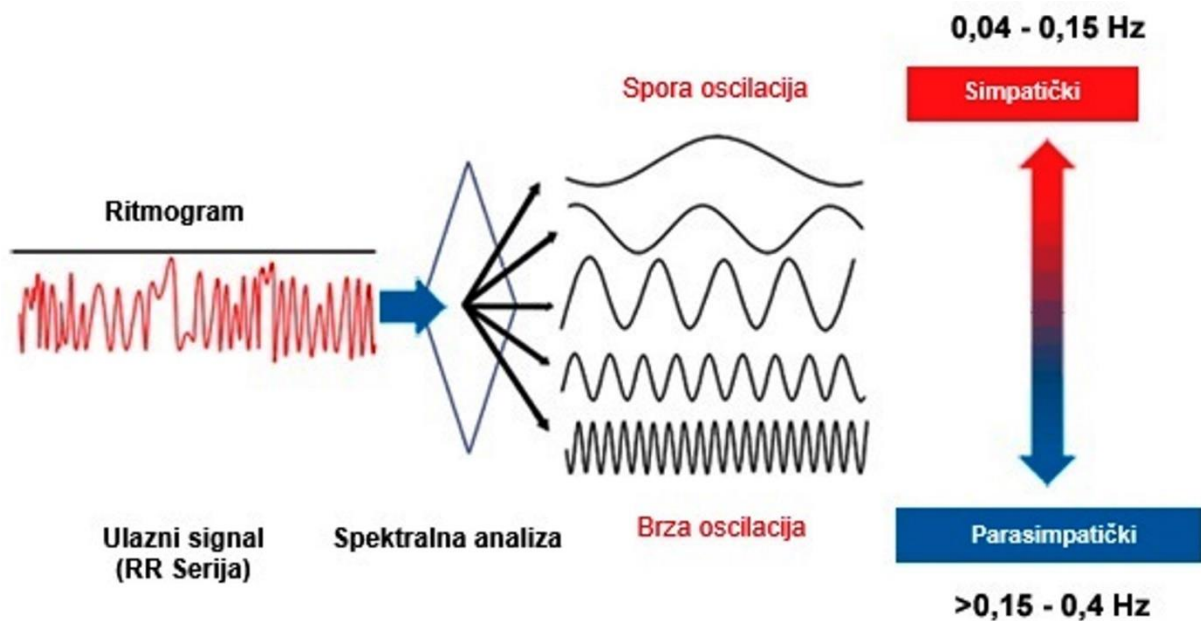
Frekvencijska domena u analizi varijabilnosti ritma srca predstavlja transformaciju vremenskih serija otkucaja u frekvencijski spektar putem Fourierove transformacije (slika 7 i slika 8). Kao što se ukupni frekvencijski spektar moždanih valova dijeli na frekvencijske komponente alfa, beta, gama, delta i theta valova, tako se i ukupni frekvencijski spektar varijabilnosti srčanog ritma dijeli na pojedinačne frekvencijske segmente. Na taj način omogućena je fragmentacija varijabilnosti na različite frekvencije pružajući uvid u specifične ritmove srčane aktivnosti, što posljedično vodi boljem razumijevanju dinamike AŽS-a. Ova analiza pruža kvantitativni uvid u aktivnosti SŽS-a i PŽS-a i koristi se u istraživanjima autonomne regulacije rada srca kao i njenih povezanosti s različitim zdravstvenim stanjima (Task Force 1996; Shaffer i Ginsberg, 2017). Mjere frekvencijske domene pružaju spektralnu analizu tahograma srčane frekvencije u rasponu od 200 do 500 otkucaja. Prikazuju relativne, normalizirane i/ili apsolutne jedinice određenih frekvencija koje doprinose ukupnoj varijanci. Drugim riječima, analiza frekvencijske domene je prikaz varijance kao funkcije frekvencije (slika 6) (SA-3000P Clinical Manual). Vrijednosti se izražavaju kao gustoća snage spektra unutar frekvencijskog pojasa, odnosno površina ispod krivulje u određenom segmentu ukupnog spektra (Thomas i sur., 2019). Mjere frekvencijske domene procjenjuju raspodjelu apsolutne ili relativne snage u četiri frekvencijska pojasa. Radna skupina (Task Force 1996) Europskog kardiološkog društva i Sjevernoameričkog društva za tahikardiju i elektrofiziologiju 1996. podijelio je oscilacije srčane frekvencije na pojaseve ultra-niske frekvencije (ULF), vrlo niske frekvencije (VLF), niske frekvencije (LF) i visoke frekvencije (HF).

1. **ULF (*Ultra low frequency*)** ≤ 0.003 Hz: Obuhvaća vrlo dugotrajne oscilacije povezane s dugoročnim promjenama i sporomijenjajućim procesima u regulaciji srčane aktivnosti koje su izvan uobičajenih fizioloških mehanizama, npr. cirkadijalni ritmovi i sezonski utjecaji.

2. **VLF (Very Low Frequency)** 0,0033-0,04 Hz: Predstavlja dugotrajnije regulacijske mehanizme i utjecaje. Ukazuje na fluktuacije u srčanoj frekvenciji povezane s metaboličkim procesima, hormonskim mehanizmima, termoregulacijom, vaskularnim tonusom i druge neurohumoralne faktore. Ove oscilacije imaju vremenski okvir od 5 minuta do nekoliko sati.
3. **LF (Low Frequency)** 0,04-0,15 Hz: Reflektira kombinirani utjecaj simpatičkog i parasimpatičkog živčanog sustava s naglaskom na aktivnosti simpatičkog. LF može također odražavati i refleksne aktivnosti proizašle iz krvnog tlaka, baroreceptora, respiracije i slično. Povezan je s kraćim varijacijama, obično u rasponu od nekoliko minuta.
4. **HF (High Frequency)** 0,15-0,4 Hz: Ovaj dio spektra uglavnom indeksira parasimpatičku aktivnost i obično je povišen tijekom odmora, dubokog disanja ili meditacije. Vremenski rok ovog pojasa ovisi o temporalnoj rezoluciji analize HRV-a, no obično odražava kratkoročnu fluktuaciju srčane frekvencije u rasponu od nekoliko sekundi do nekoliko minuta.



Slika 7 – Grafički prikaz vremenske i frekvencijske domene varijabilnosti srčanog ritma (Izvor slike - https://www.researchgate.net/figure/Figure-1-Frequency-Domain-Heart-Rate-Variability-Top-Each-point-represents-the_fig1_215505471)



Slika 8 – Grafički prikaz spektralne analize srčanog ritma u frekvencijskoj domeni (Izvor slike - <https://www.ans-analysis.com/hrv/hrv-measuring-parameter.html>)

Apsolutna snaga frekvencijskog pojasa računa se kao ms^2 podijeljeno s brojem ciklusa u sekundi (ms^2/Hz). Relativna snaga prikazuje postotak ukupne snage spektra HRV-a u normaliziranim jedinicama, izražene u postocima (%LF i %HF), što dijeli apsolutnu snagu na zbroj apsolutnih LF i HF snaga spektra (Kleiger i sur., 2005; Kuusela, 2012; Task Force 1996). Omjer snage LF prema HF (LF/HF omjer) procjenjuje omjer aktivnosti SŽS-a i PŽS u kontroliranim uvjetima (iako novija istraživanja dovode u pitanje ovu tvrdnju) (Billman, 2013). Ukupna snaga spektra je zbroj energije u ULF, VLF, LF i HF pojasevima za 24 sata i VLF, LF i HF pojasevima za snimke kraćeg trajanja. Glavna prednost analize spektralne gustoće je pružanje informacija o frekvencijama i amplitudama specifičnih ritmova koji postoje u valovima HRV-a i stoga pruža mogućnost kvantificiranja različitih oscilacija (Shaffer i sur., 2014).

Implikacije varijabilnosti srčanog ritma u sportu

Iz do sada izloženog vidljiv je izniman potencijal HRV-a kao pokazatelja stanja autonomne srčane kontrole i simpatovagalnog balansa (Singh i sur., 2014; Robinson i sur., 1991). Radi navedenih osobina on predstavlja precizan, neinvazivan i u praksi lako primjenjiv alat praćenja trenažnog procesa, prepoznavanja znakova umora i procjenu oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga u sportskoj znanosti i praksi (Plews i sur., 2013; Hottenrott i sur., 2006). Nalazi mnogobrojnih studija (Amano i sur., 2001). potvrđuju parametre HRV-a kao relevantne pokazatelje analize tjelesnog stresa tijekom treninga, što omogućava točan

uvid u fiziološko stanje i oporavak nakon treninga. Razvojem tehnologije i sve lakšom dostupnošću mjernim uređajima, monitoring HRV-a postaje sveprisutna metoda praćenje tijekom adaptacije na trening, planiranja sportskih aktivnosti i postavljanja optimalnih trenažnih opterećenja koja brže i sigurnije vode do poboljšanja sportskih performansi (Oliveira i sur., 2012). Smanjenje varijabilnosti neposredno nakon intenzivnog sportskog treninga ukazuje na povećanu simpatičku aktivnost i pad parasimpatičkog tonusa, što je znak akutnog fizičkog zamora (Dong 2016; Korsak i sur., 2023). Iako je sniženje HRV vrijednosti očekivano i predstavlja uobičajenu fiziološku reakciju na intenzivan napor, smanjena varijabilnost kroz dulje vrijeme sugerira akumulirani umor i neadekvatan oporavak sportaša (Mourot i sur., 2004). S druge strane, povećanje HRV-a tijekom oporavka sugerira jačanje vagalne aktivnosti a posljedično i uspješan oporavak (Amano i sur., 2001; Plews i sur., 2012). Brže povećanje varijabilnosti nakon treninga povezano je s boljom regeneracijom i reflektira efikasnu obnovu homeostatske ravnoteže. Sportaši s bržim porastom HRV-a nakon treninga obično pokazuju bolje performanse, manju sklonost ozljedama i veću sposobnost podnošenja budućih fizičkih izazova (Kaikkonen i sur., 2011; Buchheit i sur., 2008). Produljeno niska vrijednost HRV-a, sugerira potrebu za smanjenjem intenziteta treninga, povećanjem perioda oporavka i/ili prilagodbu šireg konteksta u kojem se trenažni proces odvija (Pichot i sur., 2002; Pichot i sur., 2000). Praćenje HRV-a također može pomoći u optimizaciji i razvoju strategija oporavka, što je prikazano i izlaganjem u ovom Radu. Intervencije poput poboljšanja kvalitete sna, optimizacije prehrane i hidratacije te uporaba tehnika oporavka kao što su masaža, elektrostimulacija, istezanje, krioterapija, ZVT i druge, mogu pospješiti povećanje HRV-a time ubrzati proces oporavka (Plews i sur., 2012; Halson, 2014; De Oliveira Ottone i sur., 2014; Overmayer i sur., 2018;). U zaključku ovog poglavlja, HRV je neprocjenjiv alat u sportskoj znanosti, medicini i praksi, pružajući uvid u individualno stanje sportaša. Redovito praćenje HRV-a omogućuje prilagodbu programa treninga, optimizaciju oporavka i prevenciju pretreniranosti, osiguravajući tako smanjenje rizika od ozljeda, bolje sportske rezultate, dugoročno zdravlje i performanse sportaša. (Halson, 2014b; Dong 2016; Plews i sur., 2012). Mjerenje varijabilnosti srčanog ritma u ovom radu imalo je temeljnu ulogu, i uz ostale mjerene pokazatelje doprinosi široj i preciznijoj slici istraživane teme. Slijedi opis i uloga mjerenih markera HRV-a i ostalih pokazatelja stanja AŽS-a korištenih u ovom istraživanju.

Varijable vremenske domene HRV-a

HRVamp - amplituda varijabilnosti srčanog ritma

Amplituda varijabilnosti srčanog ritma predstavlja raspon između najdužih i najkraćih NN intervala u vremenskom nizu otkucaja srca. Brojčano se prikazuje kao razlika maksimalnih i minimalnih uzastopnih NN intervala (Shaffer i Ginsberg, 2017). SŽS diže otkucaje i smanjuje varijaciju razmaka uzastopnih otkucaja, pri čemu snižava HRV amplitudu uvjetujući tako pad razine autonomne fleksibilnosti. Oprečno, vagusna inhibicija SŽS-a snižava otkucaje, produljuje RR intervale i povećava HRV amplitudu, što vodi povećanju varijacija ritma i fleksibilnosti (Massaro i Pecchia, 2016; Singh i sur., 2018). Fizička aktivnost obrnuto korelira s HRV-om po principu - veći intenzitet i/ili ekstenzitet aktivnosti – manji HRV i obrnuto. U oporavku, jačanje parasimpatičkog utjecaja, pad pulsa i rast HRVamp ukazuju na povratak AŽS-a u ravnotežu (Hoyer i sur., 2019). Ukratko, prestankom intenzivne fizičke aktivnosti očekuje se povećanje HRV amplitude što odražava reaktivaciju parasimpatikusa i oporavak (Romero i sur., 2017; Hoyer i sur., 2019).

NNmin, NNmax, NNmean

NNmin u kontekstu HRV-a predstavlja najkraći NN intervala tijekom mjerenog razdoblja. **NNmax** predstavlja najduži NN intervala u mjerenom periodu.

NNmean odražava prosječnu duljinu NN intervala (Móra i sur., 2022; Vurgun i sur., 2023). Povećanje NNmin i smanjenje NNmax vrijednosti označava pad varijabilnosti i obrnuto. Veća razlika ovih vrijednosti ukazuje na dominaciju PŽS-a, veću AŽS ravnotežu i bolji oporavak nakon stresa i/ili aktivnosti. Treba istaknuti važnost sagledavanja svih mjera NN intervala u zajedničkom kontekstu i/ili u kontekstu s drugim HRV pokazateljima kako bi se dobila precizna slika onoga što predstavljaju u datom mjerenju (Singh i sur., 2018; Task Force 1996). Varijabilnost NN intervala posebno je osjetljiva na učinke respiracije, neovisno o prometu vagusnog živca. Budući da duža ekspiracija omogućuju veći metabolizam acetilkolina, sporije stope disanja mogu proizvesti veće amplitude respiratorne sinus aritmija koje nisu posredovane promjenama samo vagalne aktivnosti (Shaffer i Ginsberg, 2017; Móra i sur., 2022). NN intervali brojčano se prikazuju u milisekundama (ms).

SDNN - Standardna devijacija NN intervala

Ova mjera reprezentira standardnu devijaciju NN intervala izraženu u milisekundama (ms). (*Standard Deviation of the NN interval* - SDNN). Standardno se mjeri u vremenskim uzorcima od najmanje 5 minuta i/ili dulje, a 24-satna procjena predstavlja klinički "zlatni

standard" procjene kardiovaskularnog zdravlja (Task force 1996). Na temelju 24-satnog praćenja, pacijenti sa SDNN vrijednostima ispod 50 ms klasificiraju se kao nezdravi, 50–100 ms imaju kompromitirano zdravlje, a iznad 100 ms smatraju se zdravima (Shaffer i Ginsberg, 2017). Simpatovagalna aktivnost ključno doprinosi vrijednosti SDNN-a. Visoko je povezan s ULF, VLF i LF frekvencijskim rasponima, te ukupnom snagom frekvencijskog spektra (opisano dalje u tekstu) (Shaffer i Ginsberg, 2017). SDNN odražava utjecaj svih faktora odgovornih za varijabilnost srčanog ritma (McCraty i Royall 2015). Povećanje SDNN-a, RMSSD-a i pNN50 (opisano dalje u tekstu) ukazuju na veću autonomnu fleksibilnost i uobičajeno su povezani s nižom frekvencijom srca, opuštanjem, oporavkom te većim vagusnim indeksom (Hammoud i sur., 2018). Općenito, SDNN se često koristi kao mjerilo ukupne varijabilnosti srčanog ritma i kao temeljni pokazatelj ravnoteže simpatičkog i parasimpatičkog živčanog sustava (Kleiger i sur., 2005; Singh i sur., 2018).

RMSSD - Drugi korijen srednje vrijednosti uzastopnih razlika NN intervala

Drugi korijen srednje vrijednosti uzastopnih razlika NN intervala (*Root Mean Square of Successive Differences* - RMSSD) predstavlja vrlo bitan, relevantan, pouzdan i osjetljiv indeks parasimpatičke aktivnosti. Pružajući značajne uvide u funkcionalnost AŽS-a, duboko je utemeljen u analizi HRV-a i predstavlja ključni parametar u istraživanjima. Često se koristi u kraćim mjerenjima (< 5 min), jer brzo odražava fluktuacije autonomne regulacije (SA-3000P Clinical Manual; Shaffer i Ginsberg, 2017). Povećane vrijednosti reflektiraju veću varijabilnost sugerirajući jači PŽS indeks. RMSSD je pouzdan i rado korišten marker radi svoje osjetljivosti na varijabilnost, uz manji utjecaj respiratorne i srčane frekvencije ili trajanja snimanja (Singh i sur., 2018). Iako standardizirano mjeren u zapisima od minimalno 5 minuta, u novije vrijeme praktičari predlažu korištenje i ultrakratkih vremenskih razdoblja od 10, 30 i 60 sekundi (Salahuddin i sur., 2007; Baek i sur., 2015; Esco i Flatt, 2014). RMSSD je pod značajno većim vagalnim utjecajem nego SDNN, pa se zbog toga uzima kao njegov primarni pokazatelj (Shaffer i Ginsberg, 2017). NN50, pNN50 i RMSSD izračunavaju se koristeći razlike uzastopnih NN intervala i kao takvi prvenstveno ocjenjuju varijabilnosti visoke frekvencije koja se uzima kao pokazatelj aktivnosti PŽS-a (Shaffer i Ginsberg, 2017; Task force 1996). Dok SDNN pokazuje prosječno odstupanje oko srednje vrijednosti, RMSSD prikazuje prosječno odstupanje susjednih NN-intervalu. Stoga RMSSD, kao i pNN50, preciznije prikazuje kratkotrajne promjene otkucaj po otkucaj nego SDNN-a. Vrijednost vremenskih parametara snažno ovisi o duljini analiziranog intervala zbog čega se standardizirano preporučuju snimanja trajanja 5-7 minuta za kratkoročna i 24 sata za

dugoročna mjerenja (SA-3000P Clinical Manual). Osim što odražava parasimpatički utjecaj, RMSSD se smatra refleksijom fleksibilnosti autonomnog živčanog sustava. Visoke vrijednosti sugeriraju veću sposobnost kardiološke prilagodbe, brži prelazak iz simpatičkog u parasimpatički modus djelovanja te bolju ravnotežu i adaptabilnost AŽS-a (Thomas i sur., 2019). U kontekstu stresa i oporavka od tjelesnog napora, RMSSD ima posebnu ulogu i predstavlja temeljni parametar procjene reaktivnosti AŽS-a na stresne situacije i/ili fizički napor. Pad RMSSD vrijednosti tijekom napora ukazuje na rast simpatičke pobude, a njegov povratak na bazalnu razinu i rast sugeriraju fazu oporavka, uspostavljanje ravnoteže i vagalnu prevagu (McCraty i Royall 2015; Singh i sur., 2018). Dodatno, RMSSD ima značajnu uporabu u procjeni zdravlja i oporavka gdje niske vrijednosti upućuju na veći rizik od kardiovaskularnih bolesti i stresnih stanja (Kleiger i sur., 2005). Ukratko, RMSSD je izuzetno važan kriterij u analizi HRV-a, sa značajnim impliciranjem na aktivnost parasimpatičkog živčanog sustava, adaptabilnost organizma te zdravlje i oporavak. Ovaj parametar ima ključnu ulogu u istraživanjima HRV-a i pruža dublje razumijevanje funkcionalnosti autonomnog živčanog sustava (Massaro i Pecchia, 2016). Vrijednosti RMSSD-a izražavaju se u milisekundama (ms).

NN50 - Broj parova NN intervala različitih za više od 50 milisekundi

NN50 kao HRV marker reprezentira broj parova NN intervala različitih za više od 50 milisekundi (Task force 1996). Znanstvenici predlažu ultra-kratke vremenske periode mjerenja (60 s) jer je dovoljno pouzdan i može biti relevantniji indeks od kratkotrajnih mjerenja (<5 minuta) SDNN-a (Umetani i sur., 1998; Shaffer i Ginsberg, 2017). Veći NN50 ukazuje na veću varijabilnost, u pravilu povezanu s pojačanom aktivnošću PŽS-a. Važno je napomenuti da, iako je NN50 jedna od najčešće korištenih varijabli u mjerenju HRV-a, sama po sebi ne pruža uvid u mehanizam tih fluktuacija (Kleiger i sur., 2005; Task force 1996). NN50 ovisi o bazalnoj brzini otkucaja, pa se ne preporučuje uspoređivati ga među pojedincima različitih bazalnih brzina. Kako ovaj marker ovisi o frekvenciji srca, što može otežati interpretaciju, uputno je kombinirati ga s drugim HRV mjerama, poput RMSSD, SDNN, LF, HF da bi se dobila cjelovita slika autonomne ravnoteže (Shaffer i Ginsberg, 2017).

pNN50 - Udio NN50 intervala u mjenom periodu

pNN50 (*Percentage of NN50*) izražava udio broja parova NN intervala različitih za više od 50 ms, u mjenom broju NN intervala. Pruža HRV informacije u odnosu na brze promjene i

reflektira parasimpatičku aktivnost (Task force 1996; SA-3000P Clinical Manual). Korelira s RMSSD-om iz vremenske i HF snagom a iz frekvencijske domene. Kao i NN50, ovo je pouzdaniji indeks od SDNN-a za kratke uzorke (Shaffer i Ginsberg, 2017). Veći pNN50 ukazuje na povećanu vagusnu aktivnost, ukazujući na opuštanje, oporavak i regeneraciju. Prednosti uključuju jednostavnost računanja i osjetljivost na brze promjene AŽS-a. Međutim uputno je naglasiti da pNN50 nije specifičan za detalje promjena u sapatovagalnom sustavu jer, kao i NN50, ovisi o bazalnoj brzini otkucaja. Za dublju analizu autonomne ravnoteže, važno je staviti ga u kontekst s drugim HRV pokazateljima i dodatnim informacijama (Shaffer i Ginsberg, 2017).

Varijable frekvencijske domene varijabilnosti srčanog ritma

VLF - Komponenta vrlo niske frekvencije

Komponenta vrlo niske frekvencije (*Very Low Frequency* - VLF) u frekvencijskoj analizi HRV-a reprezentira oscilacije u frekvencijskom rasponu 0.003–0.04 Hz i brojučano se prikazuje u milisekundama na kvadrat (ms^2). Reflektira dugotrajne regulacijske mehanizme i utjecaje reflektirajući tako djelovanje obje grane AŽS-a. Ukazuje na fluktuacije u srčanoj frekvenciji povezane s metaboličkim procesima, hormonskim mehanizmima, termoregulacijom, vaskularnim tonusom i drugim neurohumoralnim faktorima. Zahtijeva snimanje od najmanje 5 minuta, no najbolje ga je pratiti tijekom 24 sata (Task force 1996). Snaga vrlo niske frekvencije snažno korelira sa SDNN vremenskom mjerom. Usvojeno uvjerenje kako povećanje VLF-a sugerira dominaciju simpatikusa a smanjenje ukazuje na utjecaj parasimpatikusa, novijim istraživanjima dovedeno je u pitanje (Shaffer i Ginsberg, 2017; Valenza i sur., 2018). Danas postoji nesigurnost u vezi fizioloških mehanizma odgovornih za aktivnost u ovom opsegu. Naime, budući da ga parasimpatička blokada gotovo potpuno ukida a simpatička blokada nema nikakav utjecaj, realna je pretpostavka kako PŽS u najvećoj mjeri doprinosi VLF snazi spektra (Shaffer i Ginsberg, 2017). Snaga VLF također se može generirati fizičkim radom, termoregulacijom, renin-angiotenzinskim i utjecajima endotelnih čimbenika na srce.

LF - Komponenta niske frekvencije

Komponenta niske frekvencije (*Low Frequency* - LF) u ukupnom spektru frekvencijske snage HRV-a pripada oscilatornom rasponu od 0,04 do 0,15 Hz i brojučano se prikazuje u milisekundama na kvadrat (ms^2). LF je također dugo promatran kao index isključivo simpatičke srčane kontrole, međutim novija istraživanja oko toga nisu složna (Valenza i sur.,

2022a; Goldstein i sur., 2011). Dok neke studije prikazuju LF kao odraz simpatičke aktivnosti (van de Borne i sur., 1997; Chhabra i sur., 2014) druge osporavaju ovo tumačenje i definiraju ga kao parasimpatički marker (Houle i Billman, 1999; Reyes del Paso i sur., 2013). S treće strane, čak i isti autori u drugačijim protokolima mjerenja karakteriziraju LF kao indeks i simpatičkog i vagalnog tonusa (Valenza i sur., 2020; Billman, 2013). Naime, nije jasno povećava li simpatička aktivnost direktno LF spektar ili inhibiranjem vagusa uzrokuje pad HF spektra, što onda procentualno povećava LF. Iako još nije potpuno jasan mehanizam djelovanja, postoji konsenzus da općenito viši LF ukazuju na pojačani simpatički ton tijekom stresa ili tjelesne aktivnosti (Ortiz i sur., 2022; Balcioglu i sur., 2022; Valenza i sur., 2016). Postoje i drugi činioci utjecaja na LF spektar kao primjerice refleksne aktivnosti krvnog tlaka, baroreceptora, respiracije i slično (Kluger i Groß, 2021; García-González i sur., 2000). Za preciznu LF interpretaciju važno je dovođenje i respiratornih faktora u kontekst jer brža i plića respiracija povećava aktivnost LF ritma i obrnuto. Ova veza često se promatra u kontekstu RSA gdje se srčani ritam sinkronizira s fazama disanja. (Shaffer i sur., 2014, Task force 1996). Danas je općeprihvaćena činjenica da obje grane AŽS-a mogu biti istodobno aktivne, što odnos SŽS-a i PŽS-a u generiranju LF snage čini složenim, nelinearnim i ovisnim o eksperimentalnoj manipulaciji koja je primijenjena (Berntson i sur., 1997; Berntson i Cacioppo, 1999). Iako je LF spektar predložen kao potencijalni marker srčane simpatičke aktivnosti, u praksi generalno ne postoji široko prihvaćen i dobro testiran HRV indeks procjene čiste simpatičke aktivnosti (Nozdrachev i Shcherbatykh, 2001). Bez obzira na mehanizam regulacije koji još treba bolje shvatiti, više vrijednost LF-a svakako ukazuju na dominaciju simpatičke komponente. LF index odražava kraće varijacije srčane regulacije, obično u rasponu od nekoliko minuta.

%LF - Udio komponente niske frekvencije

Normalizirana niska frekvencija prikazuje omjer apsolutne vrijednosti niske frekvencije i razlike između ukupne snage i vrlo niske frekvencije. Kao takva predstavlja udio niskofrekventne komponente u ukupnoj snazi HRV spektra (%LF). Ovaj pokazatelj minimizira učinak promjena snage VLF-a i ističe promjene u simpatičkoj regulaciji. Normalizirana LF izražava se u normaliziranim, percentilnim jedinicama (SA-3000P Clinical Manual). Viši %LF ukazuje na veću aktivnost SŽS-a, dok niži može ukazivati na smanjenu SŽS komponentu ili veću aktivnost PŽS-a. U praksi to znači da je viši %LF povezan s povećanom tjelesnom ili mentalnom aktivnošću, stresom i fizičkim naporom (Balcioglu i sur., 2022; Adjei i sur., 2019).

HF - Komponenta visoke frekvencije

Visokofrekventna komponenta (*High frequency* - HF) u frekvencijskoj analizi HRV-a odnosi se na oscilacije unutar raspona od 0,15 do 0,4 Hz i brojčano se prikazuje u milisekundama na kvadrat (ms^2). Ovo je mjera parasimpatičke regulacije, s posebnim naglaskom na utjecaj vagusnog živca. Tijekom fizičkog vježbanja se reducira a u oporavku raste (Task force 1996; Berntson i sur., 1997; Hammoud i sur., 2018). Drugim riječima, visoki HF je povezan s opuštenim stanjima, nižom razinom stresa i adaptivnim reakcijama organizma na okolinu (Kleiger i sur., 2005), dok niža HF snaga korelira sa stresom, panikom, anksioznošću ili brigom. Visokofrekventni marker snažno korelira s vremenskim pokazateljima pNN50 i RMSSD (Kleiger i sur., 2005) i u pravilu se povećava tijekom noći (McCarty i Shaffer, 2015). To je dodatni pokazatelj smanjenja LF i porasta HF dijela spektra tijekom oporavka. S obzirom na pad simpatičkog i porast parasimpatičkog utjecaja tijekom odmora, takve rezultate je realno za očekivati (Valenza i sur., 2022b; Kim i sur., 2018). Svakako valja obratiti pozornost na korelaciju snage HF spektra i respiracije. Hayano i Yuda (2019) ističu RSA kao jedan od glavnih izvora HF HRV-a, jer promjene u respiratornoj frekvenciji i dubini značajno utječu na očitavanje njegovih vrijednosti, što onda ne odražava nužno promjene samo u parasimpatičkoj aktivnosti. Stoga je važno uvrstiti respiratornu komponentu pri interpretaciji HF HRV-a kao pokazatelja parasimpatičke aktivnosti (Nylocks i sur., 2018). Guillén-Mandujano i sur. (2020) upravo pokazuju obrnutu korelaciju HF snage sa smanjenjem respiratorne frekvencije, što potvrđuje RSA utjecaj. Dakle duboko ritmičko disanje pojačava oscilacije srčanog ritma u HF opsegu dok nepravilno ili nesinkronizirano smanjuje ili uklanja obrazac (Shaffer i Ginsberg, 2017; McCarty i Royall 2015). HF marker HRV-a ima široku primjenu u znanstvenim i kliničkim istraživanjima. Koristi se u proučavanju reakcija na stres, emocionalne regulacije, procjeni oporavka nakon tjelesnog napora, analizi spavanja i evaluaciju općeg zdravstvenog stanja. Massaro i Pecchia (2016) jasno pokazuju kako HF komponenta opada prilikom obavljanja zahtjevnijih mentalnih aktivnosti. Također se primjenjuje u biofeedback terapiji u svrhu poboljšanja ravnoteža AŽS-a i emocionalne stabilnosti (Task force 1996; SA-3000P Clinical Manual). Stoga, u njegovoj analizi, bitno je uzeti u obzir utjecaj disanja, razinu kondicije, stresa i fizičke aktivnosti kako bi se dobila precizna slika autonomne regulacije. Kombiniranje analize ovog markera s drugim relevantnim pokazateljima omogućava bolje razumijevanje i interpretaciju rezultata. Literatura preporučuje snimanje HF komponente u trajanju od minimalno 1 min (Shaffer i Ginsberg, 2017). Zaključno, HF snaga, kada se uzme u obzir i utjecaj respiracijske komponente, odražava varijacije u srčanoj vagalnoj regulaciji (Giuliano i sur., 2018). A

vrijedi i obrnuto, da snaga HF spektra pada porastom utjecaja simpatikusa. Vremenski rok ovog frekv. opsega ovisi o temporalnoj rezoluciji analize HRV-a, no obično odražava kratkoročnu fluktuaciju srčane frekvencije u rasponu od nekoliko sekundi do nekoliko minuta (Guzzetti i sur., 1988; Ortiz i sur., 2022; Task force 1996).

%HF - Udio komponente visoke frekvencije

Normalizirana visoka frekvencija označava udio snage komponente visoke frekvencije u ukupnom HRV spektru (Shaffer i Ginsberg, 2017). %HF je omjer apsolutne vrijednosti visoke frekvencije i razlike između ukupne snage i vrlo niske frekvencije te se prikazuje u normaliziranim jedinicama kao postotak udjela. Ovaj pokazatelj minimizira učinak promjena snage vrlo niske frekvencije i ističe promjene u parasimpatičkoj regulaciji a izražava se u percentilnim jedinicama (SA-3000P Clinical Manual). Koristi se u istraživanjima emocionalnog stanja, opuštanja i reakcija na stres, te pruža uvid u funkciju parasimpatičkog živčanog sustava. Viši %HF označava opušteno stanje, pojačan vagalni tonus i ukazuje na oporavak, dok niži %HF ukazuje na pojačan stres i smanjenu vagalnu kontrolu.

LF/HF - Omjer visokofrekventne i niskofrekventne komponente

LF/HF omjer predstavlja udio niskofrekventnih (LF) i visokofrekventnih (HF) komponenti u snazi ukupnog srčanog frekvencijskog spektra. Često se koristi kao indeks simpato-vagalne ravnoteže (Boender 2011). Veći omjera je dugo smatran indeksom simpatičke a manji parasimpatičke dominaciju, međutim taj koncept je osporen i ima ograničenja (Takada i sur., 2005). Stoga, iako veće vrijednosti LF komponente mogu ukazivati na veću simpatičku dominaciju, važno je prilikom tumačenja uzeti u obzir i druge čimbenike i ograničenja (Kiyono i sur., 2017). Spektralna analiza 24-satnih snimki kod normalnih osoba pokazuje kako LF i HF, izraženi u normaliziranim jedinicama, reflektiraju cirkadijalni obrazac i obrnute fluktuacije, s višim vrijednostima LF tijekom dana a HF tijekom noći (Task force 1996; Shaffer i Ginsberg, 2017). Billman (2013) je svojim radom izazvao vjerovanje u pouzdanost LF/HF omjera kao pokazatelja simpato-parasimpatičke ravnoteže. Prvo, LF snaga nije čisti pokazatelj aktivnosti simpatičkog živčanog sustava jer polovina varijabilnosti u ovom frekvencijskom pojasu dolazi uslijed utjecaja PŽS-a, a ostatak proizvode nespecificirani faktori. Drugo, interakcije parasimpatičkog i simpatičkog sustava su složene, nelinearne i često neregularne. Treće, miješanje mehanike disanja i srčane frekvencije stvara nesigurnost u vezi doprinosa parasimpatičkog i simpatičkog sustava omjeru LF/HF. Shaffer i sur. (2014) također upozoravaju na kontroverznost LF/HF omjera jer uviđaju razliku u mehanizmima koji

generiraju vrijednosti za mjerenja od 24 sata i mjerenja od 5 minuta, te ove vrijednosti slabo koreliraju. Osim toga, doprinos simpatičkog živčanog sustava LF snazi duboko varira ovisno o uvjetima ispitivanja. Na primjer, prilikom izračunavanja LF-a dok osoba sjedi uspravno u uvjetima odmora, glavni čimbenici su aktivnost PŽS-a i barorefleksa, a ne aktivnost simpatikusa. Stoga, interpretacija 5-minutnih osnovnih vrijednosti LF/HF omjera ovisi o specifičnim uvjetima mjerenja (Shaffer i sur., 2014; Kumar i sur., 2020). Zaključno, LF/HF omjer ima svoje prednosti i mane. Prednosti uključuju odražavanje simpatovagalne ravnoteže, povezanost s emocionalnim stanjem i indikaciju autonomne funkcije dok mane predstavljaju poteškoće u interpretaciji s obzirom na kompleksnost i ovisnost o individualnim varijacijama. Zato se preporučuje njegova upotreba samo kao dodatne informacije uz druge HRV mjere kako bi se dobila sveobuhvatnija slika autonomne srčane regulacije. U nastavku slijedi opis srčane frekvencije, frekvencije i amplitude disanja te BVP-a kao pokazatelja konteksta mjerenja HRV-a. Iako nisu direktni pokazatelji varijabilnosti srčanog ritma, ovi biomarkeri AŽS-a također ukazuju na njegovo stanje. Sirovi srčani ritam zajedno sa frekvencijom i amplitudom disanja kreiraju respiratornu sinusnu aritmiju, što je svakako nužno uvrstiti u kontekst radi preciznijeg uvida u stanje ali i uzročnike srčane varijabilnosti, dok BVP reflektira stanje krvnog tlaka. Nadalje, opisani su električna provodljivost kože, temperatura na površini kože i srčano-respiratorna koherencija kao dodatno mjereni markeri AŽS-a.

Srčana frekvencija

Srčani ritam je mjera broja otkucaja srca u minuti. U kontekstu oporavka nakon intenzivne fizičke aktivnosti, čisti srčani ritam (frekvencija srca - FS) ukazuje na intenzitet aktivnosti, metaboličko opterećenje i daje grublju sliku oporavka nakon opterećenja (Romero i sur., 2017). Prestankom aktivnosti, broj otkucaja se smanjuje sukladno brzini vraćanja tjelesnih sustava u stanje ravnoteže. U pravilu, FS bi se nakon treninga trebala vratiti na bazalnu razinu karakterističnu za pojedinca u mirovanju. Brži povratak na bazalno stanje ukazuje na brži oporavak i ovisi o nekoliko faktora (Reimers i sur., 2018):

Intenzitet fizičke aktivnosti: Razina napora tijekom aktivnosti igra značajnu ulogu u određivanju brzine otkucaja. Povećanjem intenziteta broj otkucaja raste kako bi se tijelo opskrblilo dostatnom količinom kisika i hranjivih tvari, istodobno eliminirajući nastale metabolite.

Trajanje aktivnosti: Dulja fizička aktivnost uzrokuje postupni rast srčane frekvencije kao oblik prilagodbe zahtjevima aktivnosti.

Treniranost: Adaptacijom na redoviti trening kardiovaskularni sustav radi većom efikasnošću što rezultira nižim pulsom, kako tijekom aktivnosti tako i u mirovanju.

Temperatura i vlažnost: Zagrije li se tijelo brže i više, osobito u okolnostima povećane vanjske temperature i vlažnosti, srce će raditi intenzivnije nastojeći održati optimalne unutarnje uvjete. Zbog toga uvjeti okoliša mogu utjecati na srčanu frekvenciju.

Dob: Starije osobe obično imaju viši puls tijekom iste razine fizičke aktivnosti.

Hidratacija i ishrana: Dehidracija ili nedostatak energije povećavaju brzinu otkucaja.

Emocije i stres: Anksioznost, ljutnja i/ili uzbuđenje mogu povećati srčanu frekvenciju čak i tijekom mirovanja i umjerene fizičke aktivnosti.

Stanje umora: Umornije stanje organizma uzrokovat će viši puls u istim uvjetima intenziteta ili ekstenziteta aktivnosti.

Hormonalni status: Hormonalni status može imati značajan utjecaj na frekvenciju i svojstva pulsa. (Veldhuis i sur., 1985; Yamaguchi i sur., 2005; Valentini i Parati, 2009)

Čisti srčani ritam pruža neke naznake o simpatovagalnoj ravnoteži ali ta veza je kompleksna i zato se očitava iz varijabilnosti NN intervala (Tiwari i sur., 2021).

Frekvencija disanja

Frekvencija disanja (*Respiration rate* – RSR) označava broj udaha i izdaha u minuti. Uz amplitudu disanja, RSR je jedan od osnovnih pokazatelja stanja AŽS-a (Muniyandi i Soni, 2019). Simpatičkim djelovanjem respiracija postaje plića i brža dok je PŽS smanjuje i produbljuje (Zaccaro i sur., 2018). Pri tumačenju frekvencije disanja valja uzeti u obzir kontekstualne faktore poput fizičke aktivnosti i koristiti je kao jedan od pokazatelja trenutnog statusa AŽS-a. Respiratorna frekvencija također ukazuje na dinamiku oporavka nakon fizičke aktivnosti (Ohashi i sur., 2001). Tijekom oporavka RSR pada, što ukazuje na smanjenje razine stresa, povratak AŽS-a u ravnotežu i postupno vraćanje organizma u stabilno stanje (West i Luks, 2016). Tempo respiratorne stabilizacije može biti uvjetovan individualnim varijacijama i različitim čimbenicima poput kondicije, navika disanja i psihološkog stanja. Duboko, sporije i svjesno disanje podiže vagusni tonus inhibirajući simpatičku aktivnost, što rezultira padom RSR-a. Sustavnim pregledom literature Narkiewicz i sur. (2006) sugeriraju postojanje znanstvenog temelja učinaka tehnika disanja na psihofiziološke parametre. Ukazuju na povezanost disanja i AŽS-a te skreću pozornost na svjesno disanje kao koristan alat u regulaciji krvnog tlaka, razine stresa, simpatovagalne ravnoteže, hormonalnog balansa, aktivnosti mozga i drugih bihevioralnih parametara. Također se ukazuje na potrebu za

daljnjim istraživanjima koja bi se bavila metodama, dozama i učincima disanja (Zaccaro i sur., 2018).

Amplituda disanja

Amplituda disanja (*Respiration amplitude* – RA) odražava razliku najviše i najniže točke na krivulji respiratornog ciklusa, i kao takva predstavlja maksimalan opseg širenja i skupljanja pluća tijekom jednog ciklusa (Fo, 2021). Simpatikus i parasimpatikus značajno utječu na RA (Dykes i sur., 1986). Tijekom intenzivne fizičke aktivnosti uz simpatičku dominaciju, tijelo prolazi kroz povećano opterećenje, što rezultira bržim i dubljim disanjem. Po završetku aktivnosti, organizam se oporavlja, reaktivacija PŽS-a smanjuje brzinu, dubinu i varijabilnost disanja što smanjuje i RA (Romero i sur., 2017). Važno je napomenuti kako individualne razlike, emocionalne i psihološke karakteristike, kondicija, nivo umora i drugi faktori mogu utjecati na ovu vezu. Također nužno je primijetiti kako tijekom fizičke aktivnosti na obrasce disanja utječu i fiziološki a ne samo simpatovagalni faktori, pogotovo kada se radi o aktivnosti visokog intenziteta. Iako aktivnost simpatikusa smanjuje a parasimpatikusa povećava amplitudu disanja u mirovanju, tijekom fizičke aktivnosti, zbog prisutnosti dodatnih faktora u procesu, događa se drugačiji efekt. Amplituda disanja mjeri se u relativnim jedinicama specifičnim za pojedine načine mjerenja i različite vrste senzora.

BVP - Puls krvnog tlaka

Puls krvnog tlaka (*Blood Volume Pulse* - BVP) pokazuje amplitudu varijacija krvnog tlaka mjereći promjene volumena krvi u arterijama tijekom srčanog ciklusa (Calvo i sur., 2020). Tjelesna aktivnost jedan je od vodećih čimbenika u iniciranju promjena BVP signala (Samadi i sur., 2019). Varijacije u valnom obliku BVP-a, poput dikrotskog vala, mogu ukazivati na obim fizičkog rada. Stoga BVP daje dobru procjenu srčane aktivnosti, i u kombinaciji s drugim podacima, može se koristiti za određivanje kardiovaskularnog opterećenja tijekom vježbanja (Mann i sur., 2009). Sveukupno, BVP signali, promjene u BVP valnom obliku i PWV (*pulse wave velocity*) u mirovanju, pružaju vrijedne informacije o kardiovaskularnom oporavku, odmoru te procjeni rizika (Cuspidi i sur., 2015; Tran i sur., 2011). BVP je moguće uzeti i kao mjeru krvnog tlaka (Weng i sur., 2002; Cheng i sur., 2021; Chen i sur., 2023). Simpatikus povećava frekvenciju i snagu srčanih kontrakcija i sužava krvne žile, što rezultira povećanjem krvnog tlaka, a to posljedično povećava BVP. Parasimpatikus suprotnim učinkom usporava FS i proširuje krvne žile smanjujući periferni otpor, iz čega proizlazi sniženje krvnog tlaka i vrijednosti BVP-a. Korelacija BVP-a, krvnog tlaka i simpatovagalne

aktivnosti varira ovisno o situacijama, kontekstu i individualnim karakteristikama (Peper i sur., 2007; Allen, 2007). Mjerenje amplitude varijacija krvnog tlaka i praćenje njezinih promjena tijekom vremena pruža uvid u regulaciju kardiovaskularnog sustava i simpatovagalnu ravnotežu. Kao takav, BVP je koristan alat u procjeni zdravstvenog stanja, emocionalne ravnoteže, evaluaciji reakcija na stres, praćenju napretka terapije i vježbi disanja te optimizaciji kardiovaskularnog zdravlja (Peper i sur., 2007; Kushki i sur., 2011). Puls krvnog tlaka mjeri se fotopletizmografijom. Promjene svjetlosne apsorpcije ili refleksije u fotopletizmografiji se obično ne izražavaju u konkretnim jedinicama kao što su volt ili milivolt, već se koriste relativne jedinice za potrebe određenog mjerenja koje odražavaju promjenu intenziteta svjetla, što u senzoru uzrokuje izmjene električnog signala (Tamura, 2019). Slijede opisi električne provodljivosti kože, temperature na površini kože i koherencije srčano-respiratornog ritma kao dodatno mjerenih varijabli u ovom istraživanju jer se tijekom procesa mjerenja za to ukazala otvorena mogućnost. Njihovo mjerenje ni na koji način nije utjecalo na dobivene rezultate i postupak mjerenja zadanih varijabli. Dobivene vrijednosti služe dodatnom proširenju uvida u proučavanu tematiku i imaju informativni karakter.

Električna provodljivost kože

Električna provodljivost kože (*Skin conductance* - SC) mjeri upravo to što ime govori – električnu provodljivost kože i izražava se u $\mu\text{S}/\text{cm}$. Koristi se kao biosignal procjene aktivnosti AŽS-a (Wickramasuriya i sur., 2018). Simpatička pobuda rezultira povećanjem SC-a, dok vagusno umirujuće djelovanje ima suprotan učinak. Kožna el. provodljivost, osim simpatovagalnog, nerijetko je pod utjecajem emocionalnog stanja, temperature okoline, vlage i drugih vanjskih i unutarnjih čimbenika (Nikula, 1991). Kao i kod drugih biosignala, za interpretaciju SC-a je važan kontekst drugih pokazatelja i subjektivne procjene radi postizanja jasnije slike. Opuštanje i obnova nakon fizičke aktivnosti rezultiraju smanjenjem razine napetosti, stresa i padom simpatičke aktivnosti a time i smanjenjem električne kožne provodljivosti (Van Oosterwijck i sur., 2021). Međutim fizička aktivnost višeg intenziteta/ekstenziteta uzrokuje perspiraciju. Više znoja na koži znači i veću provodljivost. S obzirom na to da se tijekom i neposredno nakon treninga tijelo znoji ne samo zbog simpatičkog djelovanja nego i zbog zagrijavanja, smanjenje perspiracije može biti posljedica smirivanja i hlađenja organizma a ne isključivo povlačenja SŽS-a. Zbog toga, pogotovo u ovom istraživanju, SC treba staviti u kontekst ostalih mjera (Thomas i sur., 2019). Bitno je istaknuti utjecaj individualnih razlika na korelaciju oporavka i provodljivosti kože. Pojedinci pokazuju različitu dinamiku pada SC tijekom oporavka jer mnogi faktori, uključujući

genetiku, fizičku spremnost i emocionalno stanje, mogu utjecati rezultat (Nikula, 1991). Osim toga, oporavak nakon fizičkog napora često je povezan s psihološkim stanjima poput opuštanja, zadovoljstva i spokoja što također doprinosi smanjenju simpatičke aktivnosti i padu SC indexa (Kim i sur., 2023).

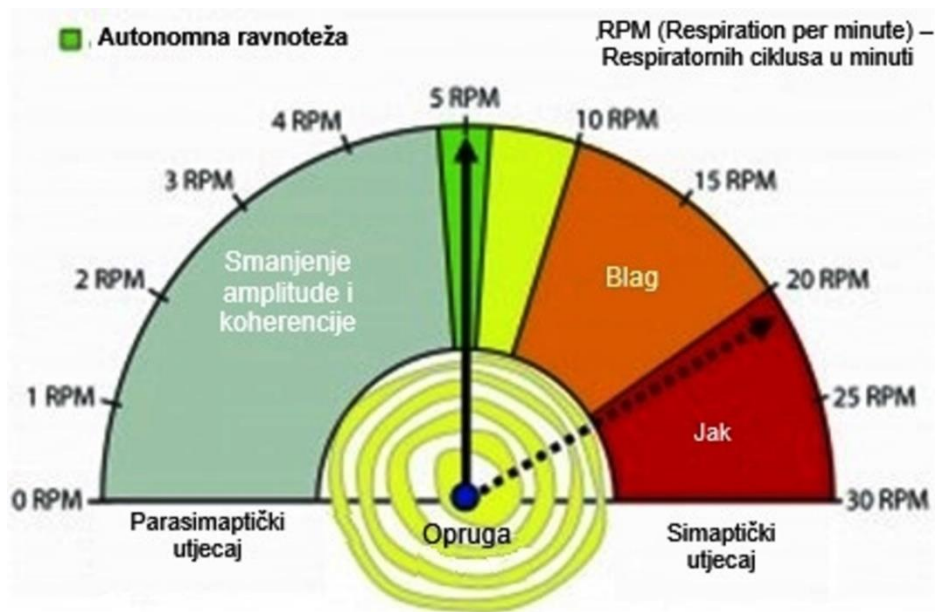
Temperatura na površini kože

Temperatura na površini kože (*Skin temperature* – ST) kao biosignal pruža informacije o aktivnosti AŽS-a i emocionalnom stanju, ali ima i druge interpretacije (Freedman, 1991). Izražava se u stupnjevima Celzijusa. Vazokonstriksijskim djelovanjem SŽS-a (Ichinose i sur., 2019) smanjuje se protok krvi prema perifernim tkivima, uključujući kožu, što snižava njenu površinsku temperaturu (Nielsen, 2015). S druge strane, jačanje vagalnog tonusa potiče vazodilataciju (Ishii i sur., 2007) povećavajući pri tom perifernu cirkulaciju, što rezultira porastom temperature na površini kože. Korelacija temperature kože, fizičke aktivnosti, oporavka nakon treninga i simpatovagalnog djelovanja složena je i varira ovisno o kontekstu, vještinama interpretacije i korištenoj metodologiji. Čimbenici poput spola, dobi, sposobnosti aklimatizacije, uvjeta okoliša, tjelesnog sastava, cirkadijalnih ritmova, zaštitne odjeće, hidracijskog statusa i/ili prehrane, načina života, fizioloških karakteristika, fizičke kondicije utječu na promjene ST-a nakon treninga (Galan-Carracedo i sur., 2019). Tijekom fizičke aktivnosti tijelo se zagrijava mišićnom aktivnošću što uzrokuje i povećanja temperature kože. Prestankom aktivnosti, ovisnosno o kontekstualnim faktorima, temperatura se brže ili sporije vraća na početnu razinu. To ne mora nužno biti direktno vezano uz aktivnost AŽS-a ali dulje zadržavanje visoke temperature kože nakon fizičke aktivnosti ukazuje na neefikasan oporavak (Saito i Nakamura, 1995; Karthikeyan i sur., 2012).

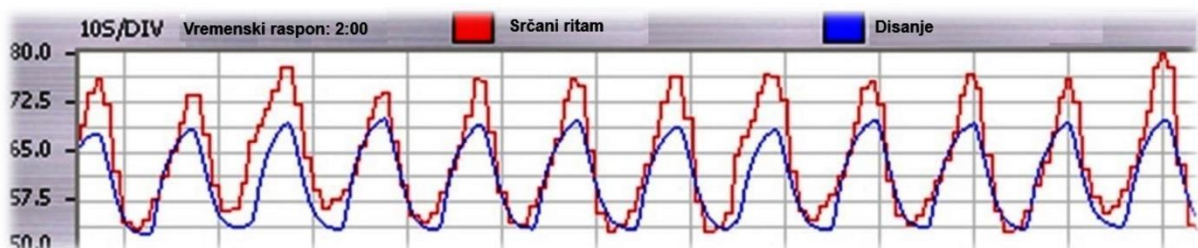
Koherencija srčano-respiratornog ritma

Koherencija srčano-respiratornog ritma (*HRV coherence*) pokazatelj je sinkronizacije srčanog i respiratornog ritma (slika 10). Ovo stanje povezuje se s ravnotežom i harmonijom u autonomnom živčanom sustavu. Visok stupanj koherencije postiže se pri ritmu disanja 5-6 ciklusa u minutu što predstavlja idealan simpatovagalni balans u budnom stanju, odnosno idealno stanje budnosti, iako bez vježbe ne baš uobičajeno modernom čovjeku (Coherence - HeartMath Institute, 2019; Zynda, 1996). SŽS i PŽS imaju svoje specifične utjecaje na koherenciju i koherentno stanje stvarajući RSA (Tiller i sur., 1996). Simpatikus ekscitira respiratornu i srčanu frekvenciju dok vagus djeluje kao kočnica. Savršeni balans jednog i drugog dovodi organizam u „koherentnu zonu“ (Ma i Zhang, 2006) (slika 9, slika 10). Veza

postaktivnog oporavka i koherencije je kompleksna i ovisi o više faktora. Tijekom vježbanja puls raste i respiracija se ubrzava što smanjuje koherenciju dok se u fazi oporavka očekuje povećanje koherencije zbog stabilizacije simpatovagalne ravnoteže kao posljedice vraćanja tjelesnih sustava u balans (McCarty, 2017; Ma i Zhang, 2006). Koherencija se prikazuje brojevima tako da broj 1 podrazumijeva potpunu koherenciju. To znači, što je izmjerena vrijednost bliža 1 to je sinkroniziranost srčanog i respiratornog ritma veća (Celka i sur., 2020).



Slika 9 – Prikaz koherentne zone (izvor slike <https://www.bmedreport.com/archives/7303>)



Slika 10 – Prikaz koherencije srčanog ritma i respiracije (izvor slike – Nexus 10 softver Biotrace)

U nastavku Uvoda slijedi opis vibracija, njihovih djelovanja na ljudski organizam i zvuka kao mehaničke vibracije koju je moguće čuti. Nastavlja se opisom pojma glazbe i glazbene terapije, zvukoterapije i njihovih temeljnih razlika. Zvučno-vibracijska terapija, kao istraživana metoda u ovoj disertaciji, obrađena je detaljnije. Na kraju Uvoda posebno su opisane tibetanske zvučne zdjele kao generatori zvučno-vibracijske terapije u ovom radu.

Predstavljena je njihova povijest, akustična svojstva, mehanizmi djelovanja na tijelo i benefiti terapije njihovog djelovanja.

Vibracije

Vibracija je periodično ili ciklično gibanje mehaničkih sustava oko ravnotežnog položaja prouzročeno vanjskom periodičnom silom ili otklonom iz ravnotežnoga položaja (Vibracije - Hrvatska Enciklopedija, 2024). Energija vibracija kroz medij prenosi se putem mehaničkih valova (Mansfield, 2004; Titranje i valovi, 2017; Brnjas, Krilov, 2020). Valovi prenose energiju kroz materiju, dok sama materija ostaje konzistentna (Tanković, 2015) ili drugim riječima - valovi prenose energiju kroz materiju s jednog mjesta na drugo bez fizičkog transfera medija kroz koji prolaze. Iako, u ekstremnijim slučajevima, ukoliko vibracije prenose veliku količinu energije kroz materijal, koja prelazi prag kavitacije, može doći do oštećenja strukture materijala kroz koji prolaze, uključujući raspadanje (Mettin i sur., 2022; Morrow i sur., 2024). Ljudi su se počeli zanimati za vibracije već od pojave prvih muzičkih instrumenata, vjerojatno bubnjeva i zviždaljki. Grčki filozof i matematičar Pitagora (582-507 pr.K.) smatra se prvim koji je na znanstvenoj razini promatrao zvukove, glazbu i njihove vibracije (Botinčan i sur., 2004).

Percepcija vibracija u ljudskom tijelu

Ljudsko tijelo detektira vibracije integracijom signala poteklih iz auditornog, vestibularnog i somatskog sustava. Auditorni sustav registrira zvučne vibracije u frekvencijskom rasponu 20 Hz – 20.000 Hz, ovisno o osjetljivosti i sposobnosti percepcije pojedinca (Oxenham, 2018). Vestibularni sustav je mehanizam smješten u unutarnjem uhu, ključno odgovoran za održavanje ravnoteže, kontrolu kretanja očiju i prostornu orijentaciju. Ovaj sustav registrira promjene položaja i ubrzanja tijela te prilagođava ravnotežu različitim situacijama. Vestibularni sustav integrira informacije o položaju tijela u prostoru s vizualnim informacijama i senzacijama iz mišića i zglobova, održavajući tako stabilnost i usklađenost tijekom kretanja (Casale i Gupta, 2020). Somatski živčani sustav čine tri podsustava: kinestetički (mehanoreceptori), visceralni (abdominalni receptori) i kožni (kožni receptori). Nastavno, u koži su smještene četiri vrste živčanih završetaka: Ruffinijeva tjelešca - detektiraju vibracije raspona frekvencije 100 do 500 Hz, lateralno istezanje i pritisak, a smještena su dublje u koži. Pacinijeva tjelešca - također locirane u dubljem sloju, detektiraju vibracije frekvencije od 40 do 400 Hz. Na površini se nalaze Meissnerova tjelešca osjetljiva na frekvencijski raspon između 5 i 60 Hz i Merkelove stanice zadužene za detekciju okomitog

pritiska i frekvencija nižih od 5 Hz (Vibracije - Hrvatska Enciklopedija, n.d.). Postoje dokazi da i lubanja ima sposobnost djelomične percepcije zvučnih vibracija (Tanković, 2015). Doživljaj vibracija se također razlikuje ovisno o položaju – stajanje, sjedenje i ležanje (Klarić, 2017). Informacije iz svih navedenih sustava se skupljaju i obrađuju u mozgu i spajaju u jedinstveno iskustvo. Govoreći o potencijalnim mehanizmima djelovanja zvučnih vibracija na ljudsko tijelo, Bartel i Mosabbir (2021) ističu nekoliko mogućnosti. Osnovni mehanizmi hemodinamskih učinaka ostvaruju se stimulacijom endotelnih stanica i vibro perkusije. Neurološki učinci uključuju aktivaciju protein kinaze i stimulaciju živaca s naglaskom na vibracijsku analgeziju i oscilacijsku koherenciju. Mišićno-koštani učinci uključuju refleks istezanja mišića, učinke vibracije na kostenu okoštalost i resorpciju, te vibracijske učinke na kralježnicu intervertebralne diskove.

Zvuk

Zvuk je mehanički val/vibracija, u čujnom frekventnom spektru. Prolazeći kroz materiju stvara oscilacije u gustoći medija kojim se širi, a brzina njegovog kretanja ovisi o gustoći i elastičnosti tog medija. Zvučne mehaničke oscilacije u uhu postaju električni signali i kao takvi nervima putuju do mozga gdje se interpretiraju kao zvuk (Talty, 1998).

Glazba i glazbena terapija

Glazba se definira kao organizirani kompleksni skup zvukova koji se proizvode i percipiraju kroz određene frekvencije, ritmove, melodije i harmonije. To je umjetnost ili znanost slaganja zvukova ili tonova u smisleni niz i estetske uzorke koji mogu izazvati emocionalne, fiziološke i socijalne reakcije kod slušatelja (Kokkidou, 2022). Učinci glazbe na psihofizičko stanje slušatelja donose široki raspon osobnih iskustava i reakcija kroz kompleksne veze auditivnog iskustva, kognitivnih procesa i fizioloških reakcija. Time glazba snažno utječe na emocionalno, mentalno i fizičko stanje. Zvuk ulazi u uho kao vibracija, u receptorima u kohlei pretvara u električni signal i kao takva dalje putuje do slušnog korteksa gdje se obrađuje. Prema Koelsch (2014) ključni neurobiološki procesi djelovanja glazbe pripadaju neuronima povezanim s nagradom, emocijama i motivacijom. Na taj način glazba može aktivirati određene regije u mozgu, uključujući amigdalnu, hipokampus i prefrontalni korteks. Amigdala procesira važnost i emocionalni značaj, a može modulirati odgovor hipokampusa i orbitofrontalnog korteksa. Hipokampus igra ulogu u obradi i pamćenju glazbenih informacija uključujući i emocionalna značenja, dok se orbitofrontalni korteks povezuje s emocionalnim obradama, emocionalnim iskustvima i evaluacijom glazbenog doživljaja. Bilo da se radi o

napetoj filmskoj skladbi, razigranoj melodiji ili nostalgiji, različiti emocionalni odgovori pokazuju snažnu povezanost glazbe s emocijama i mozgom. Upravo ta povezanost i utjecaj na raspoloženje, stres i fiziološko stanje, čine glazbu moćnim alatom u praksama psiholoških i psihijatrijskih terapija (Kent 2006; Welch i sur., 2020). Rezultati istraživanja Kučikienė i Praninskienė (2018) sugeriraju kako glazbena terapija i slušanje glazbe imaju pozitivan utjecaj na funkcije mozga. Kroz pregled radova uviđaju učinkovitost glazbene terapije kod liječenja shizofrenije, autizma i širokog spektra drugih poremećaja, bolesti i stanja. Lanzilotti i sur. (2019) primjećuju poboljšanu i olakšanu percepciju pod utjecajem ritmičkih senzornih podražaja. Zaključuju kako dugotrajnija izloženost visoko ritmičkoj glazbi utječe na dinamiku mozga prebacivanjem neuralne mreže u režim manje mrežne integracije i veće lokalne sposobnosti obrade, što ima za posljedicu uspostavljanje učinkovitijih neuralnih procesa percepcije informacija iz okoline. Primjena glazbe u sportu sve je češće prisutna upravo zbog svoje sposobnosti utjecaja na psiho-fizičko stanje pojedinca (Laukka i Quick, 2011; Karageorghis i Priest, 2012). Tijekom treninga ili prije natjecanja koristi se kao ergogeni podražaj radi pobude mentalnih, emotivnih a time i fizioloških reakcija, što za posljedicu ima postizanje boljih rezultata u izvedbi (Ballmann, 2021; Bishop i sur., 2013). S druge strane učinkovito je sredstvo opuštanja i poticanja oporavka nakon treninga (Jing i sur., 2008; Eliakim i sur., 2013; Liu i sur., 2021)

Zvukoterapija

Zvukoterapija u užem smislu odnosi se na terapijski pristup uporabe specifičnih zvukova, tonova ili pojedinačne zvučne frekvencije kojima bi se utjecalo na fizičko, emocionalno ili mentalno zdravlje osobe (Heather, 2007). Cilj zvukoterapije je poticanje relaksacije, smanjenje stresa, poboljšanje koncentracije, stimulacija energije ili poticanje procesa ozdravljenja. Primjer terapije čistim zvukom je primjena zvučnih vilica, gonga ili umjetno generiranih frekvencija koje se emitiraju u prostoru oko tijela. Jain i sur. (2023) istražuju utjecaj posebno dizajniranih Biofield tuning zvučnih vilica na ispitanike. U njihovom istraživanju vibracije zvučnih vilica raspona 30 – 960 Hz šire se prostorom stimulirajući tijelo i mozak unutar frekventnog raspona koji se javlja u prirodi. Utvrđeno je značajno smanjenje nivoa anksioznosti na grupi izloženoj terapiji. Korištenje Schumannovih frekvencija u terapijske svrhe također je primjer upotrebe određenih frekvencija u cilju unapređenja zdravlja i opće dobrobiti (Danho i sur., 2019; Liu i sur., 2023). Isključivo apliciranje zvuka slušalicama koristi u slučaju binauralnih ritmova (Naal-Ruiz i sur., 2022; Ingendoh i sur.,

2023). Binauralni ritmovi su auditivni fenomeni nastali reproduciranjem tonova različitih frekvencija odvojeno za svako uho. Time se javlja senzacija treće tonalnosti oscilirajući na razlici u frekvenciji između dva izvorna tona. Binauralni ritmovi mogu se percipirati u rasponu od približno 1-30 Hz, što je u skladu s frekventnim pojasevima ljudskog elektroencefalograma. Iz tog razloga znanstvenici pretpostavljaju rezoniranje binauralnih valova i postojećih frekvencija moždanih valova, što može dovesti do povećanja ili smanjenja aktivnosti pojedinih dijelova mozga ili moždanih valova istih frekvencija. Na primjer, stimulacija binauralnim valovima frekvencija od 10 Hz može pojačati aktivnost moždanih valova iste frekvencije, rezultirajući povećanjem pažnje i koncentracije. Ipak, treba napomenuti kako ova teorija još nije potvrđena, jer su rezultati dosadašnjih istraživanja inkonzistentni (Ingendoh i sur., 2023). U nastavku izlaganja objašnjena je razlika glazbene terapije, zvukoterapije i zvučno-vibracijske terapije jer se ti pojmovi često neprecizno koriste i zbunjuju čitatelja. Glazba, kao pojava, kompleksan je i međusobno prožimajući spoj zvuka, vibracije i ritma. Zvuk i vibracija korišteni su u svojoj elementarnoj formi u ovom istraživanju kao vibroakustična metoda stimuliranja oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga, te su iz tog razloga su nastavku detaljnije obrađeni.

Razlika glazbene terapije, zvukoterapije i zvučno-vibracijske terapije

Postoji značajna razlika korištenja glazbe u terapijske svrhe (glazbena terapija), samog zvuka (zvukoterapija) i združenog djelovanja mehaničkih vibracija sa zvučnim doživljajem u zvučno-vibracijskoj terapiji. Iako se temelje na sličnim akustičnim principima, zvučna terapija koristi čistije tonove i frekvencije i namijenjena je prvenstveno korištenju u terapijske svrhe (Heather, 2007). Glazbena terapija nudi širi raspon tonova pa je stoga njen zvučni dojam mnogo je kompleksniji. Zvukoterapija i glazbena terapija apliciraju se na dva načina – samo kao slušna senzacija uz pomoć slušalica ili se emitiraju u prostor oko tijela. Sa slušalicama je moguće doživjeti samo zvuk putem slušnog mehanizma (Naal-Ruiz i sur., 2023) dok zvuk u prostoru ispunjava šire područje i djelomično, ovisno o snazi i frekvenciji zvuka, vibracije prodiru u tijelo. Međutim, u ovom slučaju, mehanička vibracija se s izvora ne prenosi direktno na tijelo. Za razliku od glazbene i zvučne terapije, pri zvučno-vibracijskoj terapiji izvor zvuka se polaže direktno na tijelo što omogućava istodobni sinkronizirani akustični i vibracijski podražaj izazivajući tako duboku relaksaciju i intenzivan osjećaj ugone (Bartel i Mosabbir,

2021). Jedan od generatora zvučno-vibracijske terapije su i tibetanske zvučne zdjele koje su korištene u ovom istraživanju.

Vibroakustika

Vibroakustička (VAT) ili zvučno-vibracijska terapija (ZVT) je terapijska praksa kombiniranja zvuka i mehaničke vibracije. U literaturi se također susreću sinonimi poput vibroakustični tretman (vibroacoustic treatment) (Campbell i sur., 2019), psihoakustična terapija (physioacoustic therapy) (Naal-Ruiz i sur., 2023) ritmično senzorska stimulacija (rhythmic sensory stimulation) (Campbell i sur., 2017), vibroakustična muzika (vibroacoustic music) (Patrick, 1999), kao i vibrotaktilna stimulacija (vibrotactile stimulation) (Walters 1996; Kantor i sur., 2022). U skorijoj povijesti prvotno je dizajnirana i razvijena s ciljem smanjenja spastičnosti i tonusa mišića kod djece s cerebralnom paralizom od strane norveškog terapeuta Olava Skilla osamdesetih godina prošlog stoljeća. Kao takav on se smatra začetnikom i ocem vibro-akustične terapije u kliničkom smislu (Wigram, 1996). Danas se ZVT koristi radi poticanja psiho-fizičkih mehanizama iscjeljenja u cilju fizičkog, emotivnog i mentalnog blagostanja. Aplikira se na cijelo tijelo, samo određene tjelesne točke ili kao oblik masaže. Primjenjuje se u različitim vremenskim intervalima prilagođenim individualnim potrebama i komplementarna je s drugim terapijama, poput ručne masaže, fizikalne terapije i/ili terapije glazbom, pa se često primjenjuju zajedno (Boyd-Brewer i McCaffrey, 2004; Skille, 1989). Vibroakustična ili zvučno-vibracijska terapija pruža dugi popis benefita, zbog čega se sve više ozbiljno istražuje. Neki od njih uključuju smanjenje boli, stresa i anksioznosti, tjelesne napetosti, poboljšanje raspoloženja, sna, mišićne funkcije, usmjerenosti i pažnje te općeg zdravlja i blagostanja. Primijećeni su pozitivni utjecaji na povećanje opsega kretanja, ublažavanje simptoma neuro-muskularnih bolesti, te na rad srca i krvožilnog sustava. Nadalje, ZVT-om se liječe različita medicinska stanja kao što su bol u leđima, fibromialgija, artritis i migrene. Sve više se primjenjuje kao potpora u liječenju niza psihičkih poremećaja uključujući depresiju, poremećaje spavanja, posttraumatski stresni sindrom, Parkinsonovu bolest, postoperativna bol itd. Novija istraživanja pokazuju da se ZV terapijom mogu aktivirati i određeni neurokemijski procesi u mozgu, kao što su oslobađanje endorfina, dopamina i drugih neurokemijskih supstanci koje imaju analgetski i umirujući učinak (Skille i Wigram, 1995b; Hooper, 2001; Koike i sur., 2012; Bieligmeyer i sur., 2018; Delmastro i sur., 2018). Oghenetega i sur. (2022) navode značajne pozitivne učinke ZV terapije u respiratornoj rehabilitaciji pacijenata s kroničnom opstruktivnom bolesti pluća. Također, neki prethodni radovi pokazuju potencijal određenih modulacijskih frekvencija vibracija u zaustavljanju

širenja raka. Iako mehanizmi djelovanja ZVT-a nisu još razjašnjeni, dosadašnja istraživanja nude neka objašnjenja. Katusić i Mejaski-Bosnjak (2011) iznose mehanizam djelovanja temeljen na neurofiziološkim procesima. Vibracija pobuđivanjem mišićnih proprioceptora pojačava senzomotoričke informacije koje se šalju u kralježničnu moždinu što modulira prijenos signala i dovodi do smanjenja spazmičnosti, opuštanja i poboljšanja funkcionalne pokretljivosti. S druge strane primijećena je pojačana produkcija oksitocina tijekom ZVT, smanjenje lučenja hormona stresa te pojačano lučenje testosterona i hormona rasta. Ovakav hormonalni rebalans podiže životni elan i pojačava regeneraciju na svim razinama. Inhibicija boli objašnjava se putem stimulacije Pacinijevih tjelešaca. Pacinijeva tjelešca su mehanički receptori koji reagiraju na pritisak i vibracije veće od 60 Hz. Stimulirani, šalju neurokemijske signale blokirajući prijenos boli u tretiranom području. Zbog toga se ZVT klinički koristi u cilju smanjenja boli kod pacijenata s kroničnim bolovima. Nadalje, primijećeno je kako ZVT djelovanjem na živčanu aktivnost sinkronizira moždane valove harmonizirajući pri tom ritam mozga, što rezultira manjom tjeskobom i stresom. Kao jedan od najčešće spominjanih mehanizama odgovornih za blagodati ZVT-a navodi se povećanje prokrvljenosti u svim tjelesnim tkivima te limfna drenaža. Ovo ima za posljedicu bolju funkcionalnost organa i sustava, povećanu izmjenu tvari i ubranu regeneraciju. Jedno od objašnjenja naglašava kako je 75% ljudskog tijela voda kojom se vibracije lako šire sinkronizirajući tako cijeli tjelesni sustav (Kvam, 1997; Boyd-Brewer, 2003; Boyd-Brewer i McCaffrey, 2004; Puncanen i Ala-Ruona, 2012; Kantor i sur., 2022;). Delmastro i sur. (2018) uz zvučni efekt, kao mehanizam navodi prenos niskofrekventnih mehaničkih vibracija kroz tijelo aktivirajući tako kožne neurone i interoreceptivne signale kao i mehanoreceptora u područjima ligamenata, mišića i tetiva. Signali putuju u smjeru kralježnične moždine i moždanog korteksa te se združuju s drugim dijelovima tijela stvarajući jedinstveni osjećaj koji vodi tjelesnoj relaksaciji, mentalnom opuštanju i regeneraciji a tako i iscjeljenju. Hinterberger i Walter (2020) zaključuju istraživanje spoznajom da vibroakustična stimulacija tijela kroz vertikalne oscilacije pozitivno utječe na fizičko i mentalno blagostanje što potencijalno dovodi do promjena u stanjima svijesti. Drugim riječima, ritmička vibracija povećava osjećaj integracije, ravnoteže i vitalnosti vodeći do promjena u dimenzijama fenomenologije svijesti. Navedene zaključke potvrđuju dobiveni rezultati korištenjem upitnika procjene fenomenologije svijesti PCI-K-D i upitnika CSP-14 za evaluaciju promjena tjelesnih senzacija, emocionalnih stanja i mentalnih stanja nakon intervencije. Svi autori koji se bave proučavanjem ZVT-a naglašavaju njen veliki potencijal čije su mogućnosti tek neznatno proučene. S obzirom na minimalne rizike i nuspojave, postoji konsenzus oko nužnosti daljnjeg istraživanja ovog fenomena radi

boljeg razumijevanja mehanizama djelovanja. Dublje spoznaje bi proširile paletu primjene u kliničkom liječenju, rehabilitacijskim postupcima i skrbi, te doprinijele standardiziranju protokola primjene i povećanju broja osposobljenih terapeuta kako bi se maksimalno iskoristila njena učinkovitost. Nedostatak referentnih istraživanja korištenja zvučno-vibracijske terapije u sportu jedan je od motiva provođenja ovog istraživanja.

Vibroakustika u drevnim praksama

S poviješću dugom nekoliko tisuća godina, vibroakustična praksa jedna je od rijetkih drevnih tehnika koja ne samo da nije zaboravljena tijekom vremena, nego se njena teorija i praktična primjena i dalje razvijaju. Istraživanja tradicionalne primjene vibroakustike između ostalog uključuje proučavanje utjecaja šamanskog bubnjanja, gonga i tibetanskih zvučnih zdjela na psihofizičko stanje čovjeka kao i njihov utjecaj na stanje svijesti. Iako se gong i šamanski bubanj ne polažu direktno na tijelo kao tibetanske zvučne zdjele, njihove snažne vibracije prodiru u tijelo i izazivaju vibroakustični efekt. Gingras i sur. (2014) rezimiraju - Kratka izloženost ponavljajućem bubnjanju tijekom šamanskog putovanja dovodi do smanjenja razinu kortizola u tijelu, što ukazuje na potencijalni učinak ovog pristupa u smanjenju stresa. K tomu sudionici su nakon izloženosti ponavljajućem bubnjanju tijekom šamanskog putovanja prijavili veći doživljaj pozitivnog raspoloženja u usporedbi s grupom izloženoj samo instrumentalnoj glazbi za meditaciju. Ovi nalazi ukazuju kako ponavljajuće bubnjanje u blizini tijela, kao oblik vibroakustične terapije, može biti terapijski alat u smanjenju stresa, tjeskobe i poboljšanju opće dobrobiti. I drugi autori prepoznaju potencijal akustičnih vibracija šamanskog bubnja kao moćnog terapijskog i duhovnog sredstva (Szabó 2024; Maurer i sur., 1997). Borjigid (2018) u svom radu sugerira korištenje bubnja kao mosta između suvremenog istraživanja i tradicionalnih šamanskih praksi, izgrađujući nove spoznaje i razumijevanje povezanosti glazbe, svijesti i tijela. Pesek i Bratina (2016) uviđaju pozitivan učinak gong pooje (zvučna gong-kupka) na psihofizičko zdravlje i blagostanje tretiranih osoba, a najčešće primijećeni učinci su osjećaj opuštenosti, smanjenje stresa i tjeskobe, bolji san, povećanje kreativnosti i koncentracije. Terapija tibetanskim zvučnim zdjelama izaziva još intenzivniji zvučno-vibracijski doživljaj jer su zdjele u direktnom kontaktu s tijelom. Položene na tijelo, zvučne zdjele svojom vibracijom proizvode opuštajući zvuk pobuđujući slušne senzacije dok se istovremeno mehaničke vibracije šire tijelom čineći sa zvukom moćnu iscjeljujuću kombinaciju.

Tibetanske zvučne zdjele



Slika 11 - Primjer izgleda tibetanskih zvučnih zdjela i maleta koje se koriste u zvučno-vibracijskoj terapiji. (Izvor slike - <https://soundhealinglab.com/collections/therapy-singing-bowls/products/energy-therapy-singing-bowl-large-set-of-3>)

Povijest tibetanskih zvučnih zdjela

Iako ne postoje specifični arheološki nalazi o porijeklu tibetanskih zvučnih zdjela, poznat je etnografski i antropološki kontekst upotrebe takvih instrumenata u šamanskim praksama još prije više od 2500 godina. U tradicijama gdje su zvuk i šamanizam bili, i još uvijek jesu, značajan dio kulture, upotreba ovih instrumenata neizostavan je dio rituala i ceremonija. Pored toga zvučne zdjele pronađene su u grobovima egipatskih faraona, gdje su najvjerojatnije također korištene u ritualima. Nešto kasnije postale su integralni dio tibetanskog budizma, hinduističke, šintoističke i taoističke tradicije. Autohtono stanovništvo Tibeta, Butana, Nepala i Indije vjekovima ih koristi u obredne i medicinske svrhe. Zbog svoje visoke učinkovitosti, proširile su se diljem svijeta i danas se tibetanske zvučne zdjele koriste kao alat za meditaciju, opuštanje i iscjeljujuće terapije zvukom, a sve češće pronalaze put i u suvremenu glazbu (Inácio i sur., 2006).

Benefiti terapije tibetanskim zvučnim zdjelama

Sve brojnija istraživanja potvrđuju blagotvorni učinak zvučnih vibracija tibetanskih zdjela na tijelo, psihu i um. Nalazi otkrivaju smanjenja bolova, stresa, tjeskobe, depresije, ubrzan oporavak, veću koncentraciju, snažniji imunosni sustav i postizanje dubljih meditativnih stanja (Terwagne i Bush, 2011; Goldsby 2016; Trivedi i Saboo, 2019a; Stanhope i Weinstein, 2020). Rezultatima mjerenja nakon intervencije tibetanskim zdjelama Trivedi i Saboo (2019b)

pokazali su značajno povećanje RMSSD-a i pad FS-a u usporedbi s tišinom, što ukazuje na poboljšanje varijabilnosti srčanog ritma i stabilizaciju AŽS-a. Bidin i sur. (2016) uviđaju benefite primjene ove terapije u onkološkom okruženju poput smanjenja anksioznosti i depresije, poboljšanje sna i kvalitete života bolesnika. Zaključuju kako je primjena tibetanskih zvučnih zdjela, uz konvencionalnu terapiju, realno izvediv i učinkovit dio onkološke skrbi. Sugeriraju daljnja istraživanja u ovom smjeru jer bi nove spoznaje mogle donijeti napredak u liječenju i skrbi pacijenata s rakom. Inácio i sur. (2006) naglašavaju terapijski potencijal ugodnih harmonija i vibracija na fizičko tijelo. Navode kako tibetanske zvučne zdjele svojim tonovima i ritmičnim pulsiranjem utječu na neurone i moždane valove smanjujući napetost i stres, što doprinosi redukciji osjećaja boli i povećanju opće dobrobiti. Oguy i sur. (2022) utvrđuju pozitivne učinke na kardiovaskularni sustav i autonomnu regulaciju što smatraju korisnom alternativom u liječenju srčanih bolesti i dizanju općeg zdravstvenog stanja. Walter i Hinterberger (2022) proučavaju neurofiziološko djelovanje zvukova i vibracija tibetanskih zdjela na ljudski organizam. Kod 34 ispitanika mjereni su moždani valovi na 64-kanalnom EEG-u, FS, i respiracija. Nalazi su nedvojbeno identificirali pozitivan neurofiziološki učinak. EEG je pokazao smanjenje ukupne snage spektra s naglaskom na smanjenje u frekvencijskim opsezima beta 2 i gama, dok je EKG zabilježio značajan pad frekvencije srca. Prema subjektivnom dojmu sudionika, nakon intervencije osjećali su se opušteno i rasterećeno u stanju koje su opisivali kao „osjećaj pročišćenog i revitaliziranog unutarnjeg svijeta“. Osim toga, analizom prethodnih radova potvrđuju pozitivne neuroendokrine i autonomne učinke kod osoba s povećanom anksioznošću pri čekanju na kirurške zahvate, kao i blagotvorne učinke na raspoloženje i spavanje. Konkretni benefiti učinka terapije tibetanskim zvučnim zdjelama na oporavak nakon intenzivnog sportskog treninga još nisu istraživani i stoga su rezultati ovog istraživanja jedina poznata referenca. No, na temelju zaključka ovog rada i sudeći po iskustvima iz drugih navedenih istraživanih područja, terapija tibetanskim zvučnim zdjelama svakako treba zauzeti značajno mjesto u sportu kao učinkovita metoda sportskog oporavka.

Akustika i vibracije tibetanskih zvučnih zdjela

Vibracije zvučne zdjele nastaju prilikom trljanja ili udara maletom, proizvodeći tako harmoničko vibriranje karakteristično specifičnim prirodnim rezonantnim frekvencijama. Pri tome deformacija stijenke zdjele učestalo oscilira, prenoseći vibracije u zrak oko sebe što rezultira pojavom zvuka (Terwagne i Bush, 2011). Zvuk tibetanskih zdjela kompilat je osnovne frekvencije i čitavog niza popratnih harmonika. Slični oktavnim intervalima u

glazbenoj konstrukciji, ovi harmonici se javljaju u asimetričnoj progresiji zbog čega zvuče opuštajuće, ugodno, bogato i nekoherentno. Svojstva vibracija i tonova ovise o veličini, obliku, debljini, materijalu, zakrivljenju pa i temperaturi same zdjele. Dodavanjem različitih tekućina u zdjelu mijenjaju se rezonantne specifičnosti, što doprinosi povećanju heterogenosti značajki titranja. Dobiveni zvuk i vibracija također ovise o vrsti i načinu pobude. Npr. udarac mekšom maletom proizvodi dublji i mekši zvuk i obrnuto. Treba svakako spomenuti i spektar infrazvučnih frekvencija koje se ne mogu čuti, ali se osjećaju kao duboki titraji u tijelu (Terwagne i Bush, 2011). Proučavajući fizička svojstva tibetanskih zdjela Henrique i sur. (2004) pronalaze kompleksne nizove harmonika u vibroakustičnom spektru. Nakon pobude zvuk obično potiče od jednog glavnog frekvencijskog vala kojem se zatim pridružuju niži i viši tonaliteti. Osim toga, vibracije proizvode i druge složene tonalne boje stvarajući bogate nijanse tonova, dok mehaničke vibracije prodiru duboko u tijelo sinkronizirajući zvučni dojam s vibracijama u tijelu (Inácio i sur., 2006). Idealno aksi-simetrične strukture, kao što su tibetanske zvučne zdjele, imaju dvostruke načine vibracija koji se javljaju u ortogonalnim parovima s identičnim frekvencijama. Međutim, u slučaju bilo kakvog odstupanja od idealne aksi-simetrije, prirodne frekvencije ove dvije modalne strukture se odvajaju i nisu više jednake. Drugim riječima, male strukturne mehaničke razlike u zdjelama uzrokuju različite vibracije u drugačijim modalnim sklopovima, što znači da se zvučni valovi emitirani prilikom vibracije u pravilu razlikuju. Osim toga, modalne komponente zdjele, posebice tangencijalne, manje su zastupljene kod većih oslonaca (dodirne površine zdjele s podlogom), dok su samo niži modalni redovi podložni spontanom kretanju uslijed tangencijalnih vibracija. Stoga model akustike tibetanskih zvučnih zdjela, u većini slučajeva, predviđa formiranje tonova sastavljenih od niza složenih zvučnih vibracija. Niz ovih kompleksnih tonova također ovisi o broju nodalnih mjesta (mjesta gdje nema vibracije), površini zdjele koja producira zvuk i mjesta koja generiraju jednostavne frekvencije bez dodatnih harmonika. Nodalna mjesta odvajaju vibrirajuće dijelove zdjele od statičnih, čineći tako kompleksnu rezonantnu strukturu. Posljedično dobiveni harmonici složeni su od više frekvencija, a njihove različite amplitudne i fazne karakteristike doprinose složenosti zvuka koji se proizvodi (Henrique i sur., 2004).

Mehanizam djelovanja tibetanskih zvučnih zdjela na organizam

Iako mehanizam djelovanja tibetanskih zvučnih zdjela na organizam nije u potpunosti razjašnjen, evidentan je snažan utjecaj njihove zvučne i vibracijske komponente na fiziološke i psihološke funkcije ispitanika. Budući da izazivaju vibro-akustični efekt, istraživanja

principa djelovanja zvučno-vibracijskih valova na organizam (opisan ranije u tekstu) temelj su i spoznajama o načinu njihovog blagotvornog učinka. Jedna od teorija sugerira vibracijsku pobudu vagusnog živca. Svojim širokim spektrom regulacijskog djelovanja na tjelesne funkcije, pobuđeni vagus sinkronizira mnogobrojne tjelesne sustave. Osim toga njegova povezanost sa socijalnim funkcijama, raspoloženjem i učenjem, donosi smanjenje stresa, bolje raspoloženje i podiže motivaciju. Druga teorija promatra mehanizam kroz utjecaj na usklađivanje EEG spektra, posebice na porast indexa alfa valova. Temelj ovog objašnjenja je sinkronizacija oscilacija limbičkog sustava mozga pod djelovanjem zvukova tibetanskih zdjela, koja je dalje povezana s emocionalnim odgovorima i motivacijom. Treća teorija nalazi osnovu djelovanja u mehaničkom prijenosu vibracija kroz kosti i druga tjelesna tkiva te njegovoj sinkronizaciji s auditivnim iskustvom putem čula sluha. Titrajući pod utjecajem vibracija zdjele, moždano stablo, vagus i povezana tkiva utječu na razne tjelesne funkcije (Inácio i sur., 2006; Bidin i sur., 2016; Trivedi i Saboo, 2019b; Stanhope i Weinstein, 2020). Iako postoji više teorija koje pokušavaju objasniti neurofiziološki mehanizam djelovanja, još uvijek nema dovoljno znanstvenih dokaza za potpuno rasvjetljavanje teorijskih pretpostavki. Potrebno je provesti dodatna istraživanja čime bi se dublje proniknulo u razumijevanje djelovanja tibetanskih zvučnih zdjela, a time, na temelju dobivenih spoznaja, unaprijedile i mogućnosti praktične primijene.

PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Da bi porast sportske forme bio maksimalan, rezultati učinkoviti a zdravlje sportaša minimalno ugroženo, regeneracija između dva treninga mora biti potpuna (Bishop i sur., 2008; Kellmann, 2010; Anderson i sur., 2008). Shodno tome, esencijalno je važno vidjeti i razumjeti dva jednako važna lica trenažnog procesa. Trenažni proces, gledan u cijelosti, sastoji od treninga kao aktivnog dijela i pasivnog dijela koji se zove oporavak. Tek zajedno ove dvije sastavnice čine cjelinu. Kvaliteta njihovog omjera definira stupanj ostvarivanja zadanih ciljeva. Sve očekivane tjelesne adaptacije potaknute treningom dešavaju se upravo tijekom oporavka. Zabrinjavajuće je mali postotak sportaša i sportskih djelatnika koji razumiju ovu zakonitost. Trening bez adekvatnog oporavka gurnut će sportsku formu i zdravlje sportaša u negativnom smjeru. Posljedično, u cilju vraćanja sportaša na uzlaznu putanju, prečesta praksa je još pojačati intenzitet i/ili ekstenzitet treninga, što neminovno ima razorne posljedice na cijeli tjelesni sustav, formu i zdravstveno stanje, pogotovo u profesionalnom sportu. Unatoč značajnom napretku u razumijevanju aktivnog dijela trenažnog procesa, oporavak nakon fizičkih napora ostaje istaknuto zapostavljeni segment u kineziološkim istraživanjima. Ovakav pristup neizbježno generira sve veći raskorak i nedostatak relevantnih znanja, a sukladno tome i strategija sportskog oporavka. Standardne metode sna, istezanja i masaže nešto su bolje proučene i implementirane, no istraživanje njihovih učinaka svakako zaostaje za napretkom u istraživanju samog treninga. Dodatni postupci poput krioterapije, elektrostimulacije i svjesnog opuštanje koriste se rjeđe, a uvidi o njihovu učinkovitost više su osobno iskustvo nego znanstvene činjenice. Zvučno-vibracijska terapija predstavlja potencijalno inovativnu metodu koja bi mogla barem malo ublažiti ovaj disbalans. Preliminarna istraživanja iz drugih područja ukazuju na iznimnu učinkovitost ZVT-a, ali empirijski dokazi u kontekstu sportskog oporavka su rijetki ili, preciznije rečeno, uopće ih nema. Konkretni problem kojim je potaknuto ovo istraživanje leži upravo u odsustvu empirijskih podataka i znanstvenih dokaza o učinkovitosti zvučno-vibracijske terapije tijekom procesa sportskog oporavka. Ograničenost spoznaja vodi ka nedostatku uvida sportaša i sportskih stručnjaka u njene potencijalne prednosti i praktičnu primjenjivost. Rezultati ovog istraživanja mogli bi doprinijeti razvoju kineziološke znanosti i unaprijediti praksu oporavka nakon intenzivnih treninga, smanjujući tako rizik od ozljeda, povećavajući ukupnu učinkovitost treninga i time značajno doprinijeti ukupnoj kvaliteti sportskih postignuća.

CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Cilj ovog istraživanja je ispitati učinke zvučno-vibracijske terapije na aktivnost autonomnog živčanog sustava tijekom oporavka nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Iz postavljenog Cilja istraživanja proizašle su tri hipoteze:

Hipoteza 1: Zvučno-vibracijska terapija značajno smanjuje simpatičku aktivnost autonomnog živčanog sustava nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Hipoteza 2: Zvučno-vibracijska terapija značajno povećava parasimpatičku aktivnost autonomnog živčanog sustava nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Hipoteza 3: Zvučno-vibracijska terapija značajno doprinosi poboljšanju brzine i kvalitete oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga.

METODE ISTRAŽIVANJA

Dizajn eksperimenta

Ovo istraživanje dizajnirano je kao kvalitativno-kvantitativni eksperiment sa skupinom ispitanika koja je sama sebi kontrola. Da bi se dobili homogeniji rezultati, ispitanici su birani iz iste specifične skupine prolazeći pri tome različite protokole oporavka. Naime, mnoge od mjerenih varijabli u značajnoj mjeri su individualno određene (poput FS u mirovanju, varijabilnosti srčanog ritma, intenziteta treniranosti, voljnog momenta, navika disanja, osobnog subjektivnog dojma i slično) i bilo bi ih gotovo nemoguće uspoređivati u odvojenim skupinama ispitanika. Određeni su spol, razina treniranosti, godine pa i doba dana kad su provedena mjerenja, kako bi se dobila što kvalitetnija usporedba rezultata i smanjenje mogućih artefakata u mjerenjima. Na kraju su dobiveni kvalitativno-kvantitativni podaci koji se međusobno nadopunjuju i tako daju potpuniju sliku dobivenih nalaza.

Etičko odobrenje

Povjerenstvo za znanstveni rad i etiku Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 14. lipnja 2017. godine dalo je etičku suglasnost za izvođenje ovog istraživanja (Broj: 20/2017). Svi ispitanici su detaljno upoznati s protokolom istraživanja i dali su svoj pismeni dobrovoljni pristanak za sudjelovanje. Također sve fotografije su objavljene uz pristanak ispitanika koji se na njima nalaze.

Ispitanici

Uzorak su činili 24 anamnestički zdrava dobrovoljca muškog spola od 25 do 45 godina ($\bar{x} = 34.79$, $\sigma = 5.85$), aktivni amaterski sportaši i rekreativci koji redovito provode intenzivne treninge i različitog su socijalnog statusa. Izabrani su samo muški ispitanici radi veće homogenosti kako i se broj vanjskih faktora utjecaja na rezultate sveo na minimum. Imajući u vidu treninge jako visokog intenziteta, nivo fizičke spremnosti ispitanika morao je biti dostatan. Iz tog razloga birani su pripadnici interventne policije i vojske, MMA borci, boksači, tajlandski boksači, jedan učitelj yoge u dobroj fizičkoj kondiciji, te nekoliko ispitanika koji redovito prakticiraju treninge s utezima i visokointenzivne (HIT) treninge. Ispitanici su bili detaljno upućeni u svoju ulogu u istraživanju i uvjete mjerenja. Nitko od testiranih sudionika nije se prije susretao s ovom ili sličnom terapijom niti sudjelovao u nekom znanstvenom eksperimentu. Početak mjerenja uvijek je bio u 11 sati prijepodne, što je ispitanicima davalo dovoljno vremena za razbuđivanje, odnosno onima koji su radili noćnu

smjenu da se odmore, naspavaju i dođu spremni na mjerenje. Prosječno, jedan cijeli protokol trajao je oko 3 sata, a svaki ispitanik je prolazio kroz dva protokola (sa i bez ZVT). Mjeren je po jedan ispitanik dnevno. Isti subjekti su mjereni u razmaku od 7 dana u isto vrijeme dana i u identičnim uvjetima.

Opis postupka

Prije početka istraživanja svi testirani sudionici upoznati su s protokolima, prezentirana im je svrha istraživanja i postupci terapije, na osnovu čega su dali svoje pisani pristanak. Ispitanici su bili sami sebi kontrolna skupina kako bi se isključio utjecaj individualnih razlika na rezultate. Vođenje treninga, mjerenja i zvučno-vibracijsku terapiju izvodili su licencirani terapeuti. Svaka sesija uključivala je inicijalno mjerenje, protokol umaranja, protokol oporavka uz mjerenje te ispunjavanje Upitnika subjektivnog dojma i SEES skale (*The Subjective Exercise Experiences Scale - SEES*) (MeAuley i Courneya, 1994) (opisanih kasnije u tekstu), što je trajalo približno 3 sata. Prema tome svaki ispitanik proveo cca 6 sati sudjelovanja u istraživanju (dva puta po 3 sata s razmakom od tjedan dana). Testirani sudionici zamoljeni su da dva dana prije mjerenja redovito spavaju, ne piju alkohol ili konzumiraju stimulanse poput kofeina, teina i energetske napitake te apstiniraju od treninga. U dobro ventiliranom prostoru konstantne ugodne temperature gdje se obavljalo mjerenja, bila je tišina, mobiteli su bili ugašeni i uklonjena je svaka mogućnost distrakcije. Nakon ispunjavanja SEES skale i Upitnika, ispitanici su pristupili zagrijavanju koje je trajalo petnaestak minuta da bi zatim krenuo protokol intenzivnog sportskog treninga. Protokol treninga opisan je u sljedećem poglavlju. Nakon umaranja, u najkraćem mogućem vremenu ispitanici bi potrbuške legli na stol za masažu, bili spojeni na mjerni uređaj Nexus 10 (Peciulienė i sur., 2015; Van Oosterwijck i sur., 2021; Nexus 10) i tako ostali ležati 45 minuta koliko je trajao proces spajanja na senzore i protokol mjerenja. Po završetku mjerenja ispunjavali su Upitnike i SEES skalu čime bi sesija bila završena. U kontrolnom protokolu ispitanici su nakon treninga samo ležali u tišini na stolu, dok je eksperimentalni protokol, uz jednako ležanje potrbuške na stolu za masažu kao i u kontrolnom protokolu, uključivao i zvučno-vibracijsku terapiju tibetanskim zvučnim zdjelama. Ispitanici su bili kooperativni i potpuno involvirani u proces te tako dali svoj maksimalni doprinos kako bi mjerenje bilo napravljeno na najbolji mogući način. Tijekom treninga davali su svoj maksimum i nerijetko u stanju potpune iscrpljenosti dolazili do stola za masažu na kojem su ležali tijekom oporavka i mjerenja. U jednoj prilici ispitanik je, uzrokovano intenzitetom treninga, tijekom mjerenja povratio iz kojeg je razloga mjerenje moralo biti ponovljeno.

Skraćeni prikaz postupka: Inicijalno mjerenje → intenzivan sportski trening → oporavak s mjerenjima (ležanje na stolu za masažu u trajanju od 45 minuta uz mjerenje opisanih varijabli). Jedina razlika kontrolnog i eksperimentalnog protokola bila je intervencija zvučno-vibracijskom terapijom tibetanskim zvučnim zdjelama tijekom oporavka u eksperimentalnom protokolu. S obzirom na to da su uvjeti u oba protokola bili identični, a jedina razlika upotreba ZVT u eksperimentalnom protokolu, postupak je jasno mogao pokazati utjecaj zvučno-vibracijske terapije na mjerene varijable.

Protokol intenzivnog sportskog treninga

Ispitanik bi došao u teretanu, presvukao se u sportsku opremu, ispunio upitnik o osobnim podacima, pročitao i potpisao pristanak odrasle osobe na istraživanje, Upitnik subjektivnog dojma i na kraju SEES skalu (MeAuley i Courneya, 1994) o tome kako se osjeća prije početka procesa. Zatim bi potrbuške legao na stol za masažu gdje bi bilo spojen na mjerni uređaj Nexus 10. Nakon spajanja i provjere senzora počelo bi inicijalno 10-minutno mjerenje (od čega je zadnjih 7 min korišteno za statističku obradu). Mjerene su varijable CŽS-a i AŽS-a (opisane u Uvodu i ponovno navedene u poglavlju Mjerene varijable). Po završetku inicijalnog mjerenja, ispitanik bi išao 10-ak minuta na orbitrek, zatim se još dodatno zagrijao i na taj način pripremio za početak treninga. Prve su na redu bile vježbe s utezima. Izvođene su po tri serije svake od navedenih vježbi intenzitetom 70-75% RM-a, do otkaza. Sve su vježbe izvođene slobodnim utezima:

- Čučanj
- Mrtvo dizanje
- Bench press na ravnoj klupi
- Sjedeći rameni potisak
- Vučenje na lat mašini

Već iscrpljeni vježbama snage, ispitanici su u nastavku radili tri ciklusa Tabata protokola (Tabata, 2019) maksimalnim intenzitetom. Vježbe u Tabata protokolu su bile sljedeće četiri navedene, tako što je svaka vježba ponovljena dva puta u jednom Tabata ciklusu.

- Sunožno skakanje na povišenje (45 cm) (slika 12)
- Izvođenje boksačkih pokreta s utezima od 4 kg
- Marinci
- Ruski trbušnjaci s medicinkom od 6 kg



Slika 12 – Prizor iz Tabata protokola tijekom treninga

Nakon opisanog treninga kombinacije vježbi slobodnim utezima i vježbi visokog intenziteta, ispitanici su bili u velikoj većini slučajeva potpuno iscrpljeni. Cilj je bio dovesti svakog od njih do samog kraja vlastitih fizičkih mogućnosti kako bi otklon mjerenih varijabli od stabilnih vrijednosti bio što veći. Nekoliko ih je bilo na rubu povraćanja, jedan je povraćao, drugi su se pak teško digli s poda i/ili su bili u jako zadihanom stanju, no svi su u potpunosti odradili planirani protokol umaranja. U protokolu bez ZVT, nakon treninga, ispitanici bi legli potrbuške na stol za masažu i bili spojeni na senzore, ležeći tako u tišini bez ikakve intervencije. U protokolu sa ZVT ispitanici su spojeni na senzore i tijekom istovjetnih uvjeta oporavka bili izloženi zvučno-vibracijskoj terapiji. Po isteku predviđenog vremena oporavka sudionicima je dato dovoljno vremena kako bi se pribrali i polako ustali. Nakon toga ispunili su posljednju SEES skalu i Upitnik čime bi postupak bio završen. Dok su senzori spajani, ispitanici bi također bili anketirani i dalje ostali ležati u potrbuške do kraja mjerenja. Otprilike polovica ispitanika se izrazito znojila dok druga polovica nije imala tako intenzivnu reakciju, iako su se također znojili. U prvobitnom dizajnu mjerenje je trajalo 45 minuta. Nakon 3

mjerenja primijećeno je da je to predugo vremensko razdoblje, te je u suglasnosti s Povjerenstvom mjerenje skraćeno na 30 minuta. Naime, 45 minuta bio je prezahtjevno dug period za nepomično ležanje na trbuhu što bi pred kraj oporavka uzrokovalo nervozu. Takvi uvjeti mjerenja uzrokovali su artefakte i neke mjerene vrijednosti koje nisu bile povezane s oporavkom. Vremenski rok ležanja produžavalo je i potrebno vrijeme prije početka mjerenja kako bi se ispitanike udobno smjestilo, spojilo na senzore, potvrdio kontakt i osigurali uvjeti u kojima mjerenje može teći bez poteškoća, što je u konačnici iznosilo cca sat vremena mirnog ležanja na trbuhu. Zbog toga je samo vrijeme mjerenja oporavka skraćeno na 30 minuta. Taj period pokazao se odgovarajući.

SEES skala je ispunjavana:

1. Prije početka protokola
2. Nakon završetka umaranja
3. Nakon završenog perioda odmora
4. 24 sata po završetku sesije

Upitnik subjektivnog dojma ispunjavan je prije protokola umaranja, te neposredno po završetku mjerenja kao i 24 sata nakon mjerenja.

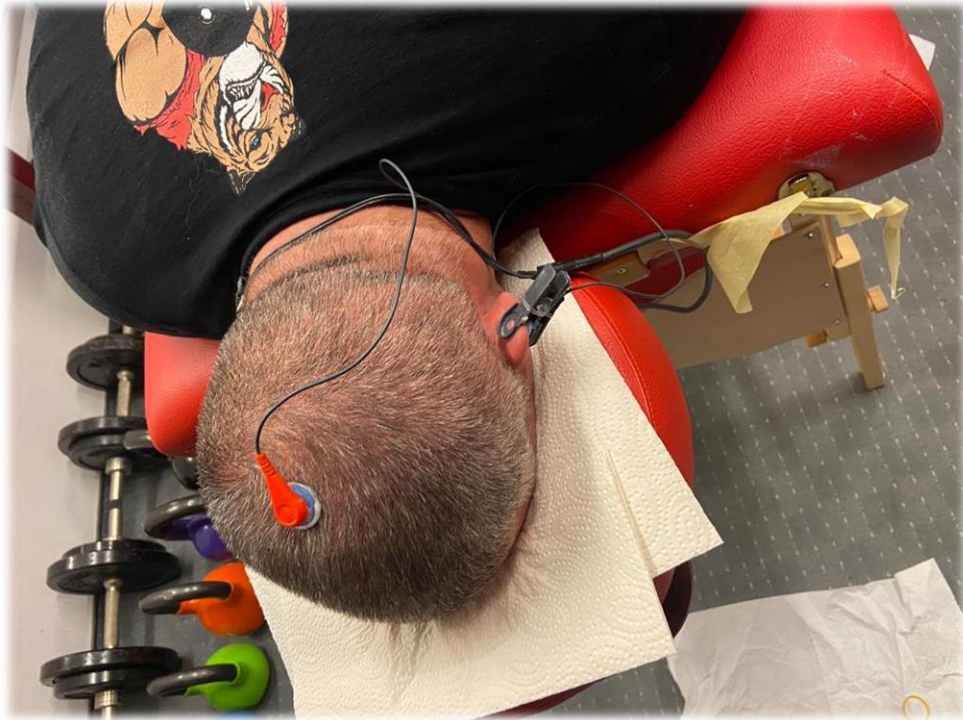
Protokol mjerenja

Po dolasku u teretanu, nakon ispunjavanja SEES skale i Upitnika subjektivnog dojma o inicijalnom stanju, ispitanici bi legli na stol i bili spojeni na senzore Nexus 10 uređaja kojim su mjerene sve kvantitativne varijable biosignala. Inicijalno mjerenje trajalo je 10 minuta od kojih su vrijednosti zadnjih 7 minuta uzete kao mjere inicijalnog stanja. Nakon treninga senzori u oba protokola su ponovno spojeni na ispitanike i tako ostali spojeni do kraja mjerenog perioda oporavka. Iz mjerenog perioda nakon aktivnosti, kao vrijednosti za statističku obradu, uzete su prvih 7 i zadnjih 7 minuta mjerenog razdoblja. Na taj način dobivene su tri mjerene točke biosignala - inicijalne vrijednosti prije treninga, vrijednosti neposredno nakon treninga te vrijednosti na kraju oporavka. Kvalitativna mjerenja obavljana su SEES skalom subjektivnog doživljaja vježbanja (*The Subjective Exercise Experiences Scale - SEES*) (MeAuley i Courneya, 1994), koja su kasnije kvantificirana i prikazana u rezultatima, te Upitnicima subjektivnog dojma u kojima su ispitanici, usmjeravani pitanjima, svojim riječima opisivali vlastita iskustva. SEES skala i Upitnik su detaljnije opisani u dijelu „Mjerene varijable“. SEES skalom su mjerene četiri točke – inicijalno stanje prije fizičke aktivnosti, neposredno nakon aktivnosti, neposredno nakon završenog mjerenog perioda oporavka i 24 sata nakon fizičke aktivnosti. Uz kratki opis stanja prije početka protokola koji

su evidentirali, opis subjektivnog dojma vlastitim riječima ispitanici su ispunjavali nakon završenog perioda mjerenog oporavka kao i nakon 24 sata po završetku aktivnosti. Slike 13, 14, 15 i 16 prikazuju trenutke tijekom mjerenja, položaj ispitanika, uređaja, spojenih senzora i okruženje u kojem su mjerenja obavljena.



Slika 13 – Prikaz mjerenja ispitanika gdje je vidljiv mjerni uređaj ispod ispitanika i priključeni senzori EEG-a, HRV-a, respiracije i temperature kože



Slika 14 – Bliži prikaz spojenog EEG senzora na PZ točku



Slika 15 – Bliži prikaz spojenih senzora HRV-a, respiracije i temperature kože



Slika 16 –Prikaz ekrana tijekom mjerenja i spojeni senzori električne provodljivosti kože

Protokol zvučno-vibracijske terapije

Tibetanske zvučne zdjele i malete korištene za potrebe ovog istraživanja prikazane su na slici 17. Sukladno tradicionalnim pristupom, tibetanske zdjele bile raspoređene na podu oko ispitanika na način da su manje zdjele viših frekvencija bile smještene oko glave, dok su veće i dubljih frekvencija smještene bliže sredini tijela i nogama (slika 18) (Trivedi i Saboo, 2019a). Protokol ZV terapije krenuo bi tako da bi se zdjele pobuđivale jedna po jedna oko ispitanika po, za ispitanika, nasumičnom redoslijedu. Na taj način bi stvarale zvučno okruženje (zvučnu kupku) u središtu kojeg se nalazio ispitanik. Nakon 2 minute jedna veća zvučna zdjela (težina zdjele 2157 g, visina 12,8 cm, vanjski promjer 28,4 cm, debljina stijenke 0,5 cm) (slika 19) bila bi stavljena na kralježnicu između lopatica ispitanika i počela bi zvučno-vibracijska terapija. Maletom pobuđena zdjela proizvodila bi vibracije koje su prodirale u tijelo kao i zvuk koji se mogao čuti. Zdjela bi bila „aktivna“ 5-10 sekundi, nakon čega ju je trebalo ponovno pobuditi. Pobuđena zdjelu pomicala je po tijelu ispitanika istim utvrđenim uzorkom kretanja i brzinom kojom je bilo potrebno 30 minuta kako bi se prošlo cijelo tijelo (slika 20).



Slika 17 – Tibetanske zvučne zdjele i malete korištene tijekom ZVT u ovom istraživanju



Slika 18 - Raspored tibetanskih zdjela tijekom mjerenja



Slika 19 - Opisana zdjela u tekstu koja se stavljala na tijelo tijekom izvođenja ZVT

Tijekom zvučno-vibracijske terapije, zdjela je pomicala po tijelu prema sljedećem obrascu: započinjalo se s postavljanjem zdjele na leđa između lopatica, odakle se polako premještala duž kralježnice do trtične kosti. Zatim bi se pomaknula udesno i kretala uz desni bok prema desnom ramenu. Slijedilo je pomicanje niz desnu ruku sve do dlana, nakon čega bi se zdjela vratila istim putem do početne točke između lopatica. Isti postupak bio je primijenjen i na lijevoj strani tijela. Nakon završetka tretmana lijeve ruke, zdjela bi se ponovno smjestila između lopatica te nastavila kretanje duž kralježnice prema dolje, nastavljajući niz desnu nogu sve do stopala. Po završetku tretmana stopala, zdjela bi se po desnoj nozi vratila do trtične kosti i zatim na isti način tretirala lijeva noga. Završno, kretanje je završavalo vraćanjem zdjele uzduž lijeve noge i kralježnice do početne pozicije između lopatica. Zbog spojenih senzora, zvučno-vibracijska terapija primijenjena je samo na leđima dok su ispitanici ležali na trbuhu, kao što je vidljivo na slici 20.



Slika 20 - Tijek zvučno-vibracijske terapije

Instrumenti

U svrhu kvantitativnih mjerenja biosignala korišten je uređaj Nexus 10, dok su SEES skala i Upitnik subjektivnog dojma korišteni kao kvalitativni instrumenti mjerenja subjektivnih dojmova. Tibetanske zvučne zdjele bile su generatori istraživane zvučno-vibracijske terapije prilikom oporavka nakon intenzivnog treninga.

Kvalitativni instrument:

Nexus 10

Nexus 10 (Peciulienė i sur., 2015; Van Oosterwijck i sur., 2021; Nexus 10) je sofisticirani višekanalni uređaj za neinvazivno mjerenje različitih biomarkera i fizioloških parametara (slika 21).

Tehničke karakteristike:

Kanali: Uređaj posjeduje 10 ulaznih kanala što dopušta istovremeno snimanje više biomarkera.

Frekvencija uzorkovanja: Uređaj omogućuje visoku frekvenciju uzorkovanja, do 2048 Hz, što osigurava precizno praćenje brzih promjena u fiziološkim biosignalima.

Priključci: Nexus 10 koristi standardne priključke za različite senzore, uključujući senzore elektrokardiograma (EKG), elektromiograma (EMG), elektroencefalograma (EEG), električne provodljivosti kože (EDA), puls krvnog tlaka (BVP) kao i termo i respiratorne senzore.

Mjereni biomarkeri

U ovom istraživanju, uređaj Nexus 10 korišten je za mjerenje različitih biosignala kako bi se procijenio učinak zvučno-vibracijske terapije na oporavak sportaša nakon intenzivnog sportskog treninga.

Mjereni biosignali uključuju sljedeće varijable:

Varijable CŽS-a:

Amplituda alfa valova: Mjerenje amplitude alfa valova u EEG-u povezanih s relaksacijom.

Omjer alfa/theta valova: Omjer amplitude alfa i theta valova u EEG-u, što može ukazivati na razinu budnosti i relaksacije.

Vršna frekvencija alfa valova: Najčešća frekvencija alfa valova u EEG-u.

Varijable AŽS-a:

Električna provodljivost kože: Pokazatelj promjena u električnoj vodljivosti kože, koje su povezane s aktivnošću simpatičkog živčanog sustava.

Temperatura na površini kože: Pokazatelj promjena temperature kože, što može ukazivati na termoregulaciju i perifernu cirkulaciju.

Puls krvnog tlaka: Mjera promjena u volumenu krvi u perifernim krvnim žilama.

Frekvencija disanja: Pokazatelj broja ciklusa disanja u minuti.

Amplituda disanja: Pokazatelj volumena udaha i izdaha.

Srčana frekvencija: Broj otkucaja srca u minuti.

Koherencija srčanog i respiratornog ritma: Pokazatelj usklađenosti srčanog i respiratornog ritma.

Varijable varijabilnosti srčanog ritma:

NNmin: Minimalni NN interval ili najkraći izmjereni interval uzastopnih NN valova u elektrokardiogramu (EKG).

NNmax: Maksimalni NN interval ili najduži izmjereni interval uzastopnih NN valova u EKG-u.

NNmean: Prosječni NN interval ili prosječno vrijeme uzastopnih NN intervala u EKG-u.

NN50: Broj uzastopnih NN intervala koji se razlikuju za više od 50 ms.

pNN50: Postotak uzastopnih NN intervala koji se razlikuju za više od 50 ms.

SDNN: Standardna devijacija svih NN intervala u mjenom periodu.

RMSSD: Kvadratni korijen srednje vrijednosti kvadrata razlika uzastopnih NN intervala.

HRVamp - amplituda varijabilnosti srčane frekvencije: Vremenska razlika duljine maksimalnog i minimalnog NN intervala.

VLF: Komponenta vrlo niske frekvencije. Snaga spektralne komponente varijabilnosti srčane frekvencije u vrlo niskom frekventnom području.

LF: Komponenta niske frekvencije. Snaga spektralne komponente varijabilnosti srčane frekvencije u niskofrekventnom području.

%LF: Postotak snage niskofrekventne komponente u ukupnoj snazi HRV spektra.

HF: Komponente visoke frekvencije. Snaga spektralne komponente varijabilnosti srčane frekvencije u visokofrekventnom području.

%HF: Postotak snage visokofrekventne komponente u ukupnoj snazi HRV spektra.

LF/HF: Omjer snage niskofrekventne i visokofrekventne komponente varijabilnosti srčane frekvencije

Softver:

Nexus 10 dolazi s integriranim softverom BioTrace+, koji omogućuje prikupljanje, pohranu i analizu podataka (slika 22).

Glavne značajke softvera uključuju:

Prikupljanje podataka u realnom vremenu: Softver omogućuje praćenje fizioloških signala u realnom vremenu, što je ključno za analizu akutnih promjena tijekom i nakon terapije.

Analiza podataka: BioTrace+ nudi različite alate za analizu, uključujući filtriranje signala, spektralnu analizu i analizu varijabilnosti srčanog ritma.

Pohrana podataka: Svi podaci prikupljeni tijekom sesija pohranjuju se na računalo za daljnju analizu i interpretaciju.

Primjena u istraživanju

U ovom istraživanju Nexus 10 je korišten za prikupljanje podataka o fiziološkim promjenama sportaša tijekom oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga.



Slika 21 – Nexus 10 uređaj (izvor slike <https://www.dotmed.com/listing/other/nexus/mindmedia-10-mkii-mark-2/neurofeedback-biofeedback-emg-system/4957007>)



Slika 22 – primjer ekrana tijekom snimanja Nexus 10 uređajem (Izvor slike - <https://themeditationcenter.org/biofeedback/>)

Kvalitativni instrumenti:

Kombinacija SEES skale i Upitnika subjektivnog dojma omogućila je sveobuhvatnu analizu emocionalnih i subjektivnih reakcija ispitanika na zvučno-vibracijsku terapiju, pružajući tako dubinsko razumijevanje njihovih iskustava i percepcija.

SEES skala

Skala subjektivnog doživljaja vježbanja (*Subjective Exercise Experiences Scale - SEES*) (MeAuley i Courneya, 1994) je psihometrijski alat za procjenu subjektivnih doživljaja vježbanja i tjelesne aktivnosti. Predstavlja standardizirani instrument za kvantifikaciju subjektivnih iskustava vezanih uz vježbanje, čime se dobivaju vrijedni podaci o psihološkom stanju ispitanika prije, tijekom i nakon fizičke aktivnosti.

SEES skala omogućuje ispitanicima izražavanje subjektivnog doživljaja vježbanja u tri kategorije:

- Stanje pozitivne dobrobiti (Positive Well-Being)
- Psihološki stres (Psychological Distress)
- Umor (Fatigue)

Sastoji se od dvanaest pridjeva procjene trenutnog psihološkog stanja, reflektirajući tri navedene kategorije kao globalne emotivno-fiziološke reakcije na stimulativne karakteristike vježbanja. Dva faktora odgovaraju pozitivnim i negativnim polovima psihološkog zdravlja – pozitivni osjećaj dobrobiti i psihološki distress dok treći predstavlja subjektivne pokazatelje umora.

Tablični prikaz 1 – prikaz kategorija i pridjeva koje procjenjuje SEES skala

Stanje pozitivne dobrobiti Odlično Pozitivno Snažno Sjajno	Psihološki distress Grozno Bijedno Obeshrabreno Loše	Umor Iscrpljeno Malaksalo Umorno Zamoreno
---	---	--

Odgovori su ponuđeni na Likertovoj skali (Likert, 1932) od 1 (uopće ne) do 7 (potpuno)

U ovom istraživanju SEES skala se koristi za procjenu subjektivnog iskustva ispitanika prije i nakon fizičke aktivnosti, te nakon oporavka sa i bez intervencije.

Tablični prikaz 2 – primjer korištene SEES skale

SUBJEKTIVNI OSJEĆAJ FIZIČKE AKTIVNOSTI
Anketa protokola SA zvučno-vibracijskom terapijom

Ime i prezime _____ Dob _____ Sport/klub _____

Prije početka protokola

Zaokružite broj na skali pored svake riječi koja odražava Vaše trenutno stanje.

	Osjećam se....	Uopće NE			UMJERENO			POSVE
1	ODLIČNO	1	2	3	4	5	6	7
2	GROZNO	1	2	3	4	5	6	7
3	ISCRPLJENO	1	2	3	4	5	6	7
4	POZITIVNO	1	2	3	4	5	6	7
5	BIJEDNO	1	2	3	4	5	6	7
6	MALAKSALO	1	2	3	4	5	6	7
7	SNAŽNO	1	2	3	4	5	6	7
8	OBESHABRENO	1	2	3	4	5	6	7
9	UMORNO	1	2	3	4	5	6	7
10	SJAJNO	1	2	3	4	5	6	7
11	LOŠE	1	2	3	4	5	6	7
12	ZAMORENO	1	2	3	4	5	6	7

Upitnik subjektivnog dojma

Upitnik subjektivnog dojma osmišljen je posebno za potrebe ovog istraživanja s ciljem dobivanja detaljnih i osobnih dojmova ispitanika o doživljaju zvučno-vibracijske terapije i njenog utjecaja na oporavak nakon intenzivnog sportskog treninga. Opis subjektivnih dojmova ispitanika bio je usmjeravan upitnikom, ali su ispitanici imali slobodu i poticani su napisati svoje dojmove na svoj način, ukazujući na najupečatljivije momente.

Struktura upitnika: Upitnik svojom strukturom dopušta ispitanicima izražavanje svojih subjektivnih osjećaja i dojmova o terapiji. Pitanja su otvorenog tipa kako bi se potaknulo slobodno izražavanje misli i iskustava.

Kvalitativna obrada: Kako kvantificiranje ovakvih podataka nije bilo moguće, odgovori ispitanika su kvalitativno opisno obrađeni. Djelomično sažeti izvorni odgovori ispitanika moguće je dobiti na upit autoru.

Specifičnost upitnika: Budući da ovakvo istraživanje nije nikad prije provedeno i ne postoji standardizirani upitnik za tu namjenu, upitnik je osmišljen od strane autora ovog Rada u skladu sa zadanim ciljem i hipotezama istraživanja.

Opis dojmova nakon protokola sa ZVT

1. Opišite stanje na početku
2. Opišite stanje nakon trening
3. Opišite stanje tijekom oporavka
4. Opišite stanje nakon oporavka
5. Opišite nivo osjećaja pozitivnog/uznemirenosti/umora tijekom oporavka
6. Opišite nivo bolnosti mišića uzrokovane treningom nakon oporavka
7. Jeste li u stanju ponoviti isti trening odmah?
8. Opišite/ocijenite cjelokupni doživljaj oporavka, nivo ugone terapije

Opis dojmova nakon protokola bez ZVT

1. Opišite stanje na početku
2. Opišite stanje nakon trening
3. Opišite stanje tijekom oporavka
4. Opišite stanje nakon oporavka
5. Opišite nivo osjećaja pozitivnog/uznemirenosti/umora tijekom oporavka
6. Opišite nivo bolnosti mišića uzrokovane treningom, nakon oporavka
7. Jeste li u stanju ponoviti isti trening odmah?

Usporedba oba protokola neposredno nakon završetka

1. Opišite kvalitetu i brzinu oporavka uspoređujući protokol SA i BEZ ZVT
2. Usporedite psiho-fizičko stanje (fizičko, mentalno, emotivno) nakon oporavka SA i BEZ ZVT
3. Nivo bolnosti mišića uzrokovanih treningom SA i BEZ ZVT
4. Mislite li da bi uvođenje ovakve procedure nakon treninga doprinijelo kvaliteti i kvantiteti rezultata
5. Ocjena cjelokupnog doživljaja vlastitim riječima

Usporedba oba protokola nakon 24 sata

1. Usporedite psiho-fizičko stanje (fizičko, mentalno, emotivno) nakon 24 sata SA i BEZ ZVT
2. Nivo bolnosti mišića uzrokovanih treningom nakon 24 sata uspoređujući stanje SA i BEZ ZVT
3. Osjećaj da bi mogli ponovno napraviti ovakav ili sličan trening nakon 24 sata uspoređujući stanje SA i BEZ ZVT?
4. Kakva je bila kvaliteta sna noć nakon protokola uspoređujući SA i BEZ ZVT?

Navedeni upitnici su prikaz pitanja koja su ispitanici dobivali neposredno nakon i 24 sata nakon završetka cjelokupnog protokola mjerenja. Opisivali su svoje trenutno stanje kao i uspoređivali doživljene dojmove sa i bez intervencije zvučno-vibracijskom terapijom. Kombinacija SEES skale i Upitnika subjektivnog dojma omogućila je sveobuhvatnu analizu emocionalnih i subjektivnih reakcija ispitanika na zvučno-vibracijsku terapiju, pružajući tako, uz kvantitativne podatke, dublje razumijevanje njihovih iskustava i percepcija.

Tibetanske zvučne zdjele

Generatori zvučnih vibracija tijekom terapije bile su tibetanske zvučne zdjele detaljno opisane u Uvodu.

Mjerene varijable

Mjerene varijable u ovom istraživanju podijeljene su na kvantitativne i kvalitativne. Kvantitativne se dalje podijeljene na varijable središnjeg i varijable autonomnog živčanog sustava. Sve mjerene kvantitativne varijable mjerene su neinvazivno Nexus 10 uređajem. Kvalitativne varijable vrednovane su SEES skalom i Upitnikom subjektivnog dojma. Detaljni opisi svih korištenih varijabli nalaze se u Uvodu ovog rada. Uz mjerenja biosignala predviđena originalnim dizajnom istraživanja, koja predstavljaju pouzdane i dokazane markere AŽS-a i CŽS-a, a na kojima se dobiveni zaključci temelje, dodatno su mjerene još neke varijable jer je tijekom mjerenja već zadanih varijabli za to postojala otvorena mogućnost. Naime, osim mjerenja HRV-a, respiracije, frekvencije srca, BVP-a i alfa i theta moždanih valova mjereni su i električna provodljivost kože, temperatura na površini kože, koherencija srčano-respiratornog sustava kao markeri AŽS-a, a također je dodana i varijabla vršne alfa frekvencije (APF) kao dodatni marker stanja CŽS-a. Dodatna mjerenja ni na koji način nisu utjecala na originalnim dizajnom predviđena mjerenja i njihove dobivene vrijednosti, te su dodane samo kao informativni dodatak prvotnom projektu disertacije kako bi se produbili mogući uvidi i još više proširile trenutne spoznaje. Kao što je i očekivano, ove varijable nisu pokazale značajnu razliku zbog specifičnosti mjerenja u ovom istraživanju što je opisano u Raspravi svake pojedine varijable.

Kvantitativne varijable

Varijable centralnog živčanog sustava:

Amplituda alfa valova: Mjerenje amplitude alfa valova u EEG-u, koje su povezane s relaksacijom i budnošću.

Omjer alfa/theta valova: Omjer amplitude alfa i theta valova u EEG-u, što može ukazivati na razinu budnosti i relaksacije.

Vršna frekvencija alfa valova: Najčešća frekvencija alfa valova u EEG-u (dodatno mjerenje).

Varijable autonomnog živčanog sustava:

Varijable HRV-a:

Varijable vremenske domene HRV-a:

HRVamp: Amplituda varijabilnosti srčanog ritma. Vremenska razlika između maksimalnog i minimalnog NN intervala.

NNmin: Najkraći izmjereni interval između uzastopnih NN valova u EKG-u.

NNmax: Najduži izmjereni interval između uzastopnih NN valova u EKG-u.

NNmean: Prosječno vrijeme između uzastopnih NN intervala.

NN50: Broj uzastopnih NN intervala koji se razlikuju za više od 50 ms.

pNN50: Postotak uzastopnih NN intervala koji se razlikuju za više od 50 ms.

SDNN: Standardna devijacija svih NN intervala.

RMSSD: Kvadratni korijen srednje vrijednosti kvadrata razlika uzastopnih NN intervala.

Varijable frekvencijske domene HRV-a:

VLF: Komponenta vrlo niske frekvencije. Snaga spektralne komponente varijabilnosti srčane frekvencije u vrlo niskofrekventnom području.

LF: Komponenta niske frekvencije. Snaga spektralne komponente varijabilnosti srčane frekvencije u niskofrekventnom području.

%LF: Postotak snage niskofrekventne komponente u ukupnoj spektralnoj analizi HRV-a

HF: Komponente visoke frekvencije. Snaga spektralne komponente varijabilnosti srčane frekvencije u visokofrekventnom području.

%HF: Postotak snage visokofrekventne komponente u ukupnoj spektralnoj analizi HRV-a.

LF/HF: Omjer snage niskofrekventne i visokofrekventne komponente varijabilnosti srčane frekvencije.

Kontekstualne varijable HRV-a:

BVP: Mjerenje promjena u volumenu krvi u perifernim krvnim žilama.

Frekvencija disanja: Broj respiracijskih ciklusa u minuti.

Amplituda disanja: Mjerenje promjena u volumenu zraka tijekom disanja.

Srčana frekvencija: Broj otkucaja srca u minuti.

NNmean: Prosječno vrijeme između uzastopnih NN intervala.

Dodatno mjerene varijable AŽS-a:

Električna provodljivost kože: Mjerenje promjena u električnoj vodljivosti kože, koje su povezane s aktivnošću AŽS-a (dodatno mjerenje).

Temperatura na površini kože: Mjerenje promjena temperature kože, što može ukazivati na termoregulaciju i perifernu cirkulaciju (dodatno mjerenje).

Koherencija srčanog i respiratornog ritma: Mjerenje usklađenosti srčanog ritma i ritma disanja (dodatno mjerenje).

Kvalitativne varijable

Varijable mjerene SEES skalom

Kvalitativne varijable predstavljaju vrijednosti dobivene SEES skalom iz 3 procjenjivana područja:

1. Osjećaj pozitivne dobrobiti
2. Psihološki stres
3. Umor

Obradom su kvantificirane i predstavljene u rezultatima.

Varijable mjerene Upitnikom subjektivnog dojma

Kvalitativni podaci iz Upitnika subjektivnog dojma prikupljeni su kroz vlastite subjektivne opise doživljenog iskustva Ispitanika i opisno predstavljeni u Rezultatima.

Analiza podataka

Kolmogorov-Smirnovljevim testom je testirana normalnost distribucije svih varijabli. Ukoliko se pojedina distribucija pokazala normalnom, odnosno da ne odstupa od normalne Gaussove krivulje, podaci za tu varijablu prikazani su kao aritmetičke sredine i standardne devijacije, a ako podaci ne prate normalnost Gaussove krivulje, prikaz podataka je definiran kroz medijane i interkvartilne raspone (25.-ti i 75.-ti percentil). Podaci su obrađeni s pomoću ANOVE za

ponavljajuća mjerenja radi usporedbe svih točaka, a parovi varijabli u slučaju potvrde značajnosti. Također parovi varijabli prije i poslije intervencije testirani su Studentovim t-testom za zavisne uzorke ili Wilcoxonovim testom parova u slučaju neparametrijske statistike uz postavljenu razinu značajnosti $p < 0,05$. Utjecaj intervencije je provjeren izračunom čimbenika učinka (Cohenov učinak) i definiran je kao malen, umjeren ili veliki. Sve analize u ovoj doktorskoj disertaciji su napravljene u statističkom paketu SPSS verzija 23. (Statistical Packages for Social Sciences ver. 23, IBM, Chicago, IL).

REZULTATI

Od ukupnog uzorka izabranog na početku testiranja ($N = 24$), svi Ispitanici su kvantitativno izmjereni u varijablama biosignala tijela prije i nakon treninga, te nakon 30 minuta mjenog oporavka. U slučaju SEES skale i Upitnika subjektivnog dojma Ispitanici su mjereni i nakon 24 sata po završetku oba protokola. U jednom protokolu Ispitanici su tijekom oporavka mjereni sa, a u drugom bez intervencije zvučno-vibracijskom terapijom. U nastavku ovog poglavlja slijed prikaza statistički obrađenih rezultata svih mjenih varijabli organiziran je poretom kakav je predstavljen u Uvodu te kasnije skraćeno naveden u poglavlju Mjerenje varijable. Pregled redosljeda u Rezultatima također se nalazi u Sadržaju. Prilikom računanja značajnih razlika, pojavljuju se tri faktora: vrijeme, intervencija i interakcija vremena i intervencije. Faktor „vrijeme“ pokazuje postoje li značajne razlike na početku i na kraju testiranja, bez obzira na grupe ispitanika. Za ovaj pokazatelj je logično da postoji. Npr. srčana frekvencija je svakako veća nakon treninga nego prije treninga, bez obzira na intervenciju. Faktor „intervencija“ reflektira značajne razlike između grupa (sa i bez intervencije), neovisno o vremenu. Treći, i za ovaj rad relevantan pokazatelj, je interakcija vremena (prije i nakon) i intervencije (sa i bez ZVT). Statistički značajni pokazatelji u ovom odnosu oslikavaju utjecaj ZVT na oporavak u vremenu (prije i nakon treninga/oporavka, te nakon 24 sata tamo gdje je to mjereno). Nadalje vrijednosti rezultata svake mjenje varijable prikazani su opisno, tablično i grafički. Mjesta gdje se u opisu i tablici spominju/prikazuju značajne statističke razlike prikazane su boldanim slovima.

Rezultati mjerenja CŽS-a

Amplituda alfa valova

Prva varijabla testirana kroz sva tri mjerenja bez i s primjenom ZV terapije je amplituda alfa valova (tablica 1 i prikaz 1). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.052$; $p = 0.998$). Iz tablice 3 je vidljivo, kako se vrijednosti amplitude alfa valova linearno povećavaju nakon treninga i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se u intervenciji s primjenom ZV terapije vrijednosti nakon treninga smanjuju. Glavni učinci vremena (prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka), intervencije (bez primjene i s primjenom ZV terapije), te njihova međusobna interakcija su pokazali kako ne postoje značajne razlike među njima i njihovim interakcijama,

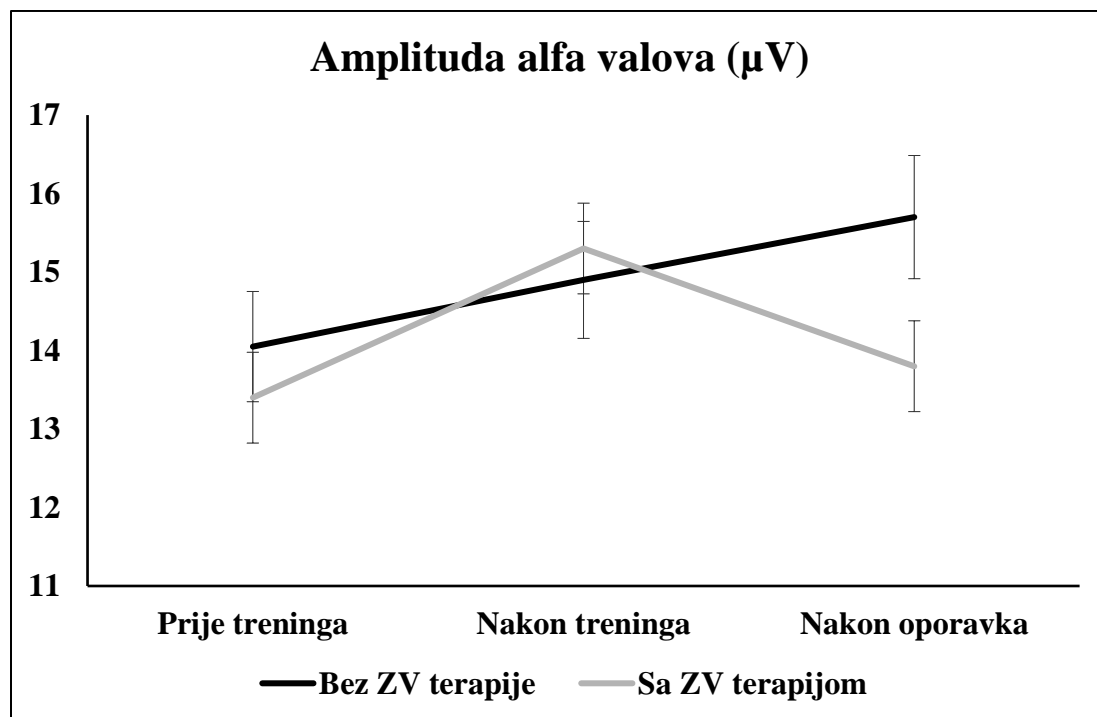
što bi značilo kako vrijednosti amplitude alfa valova s obzirom na vrijeme primjene, intervenciju, te njihovu interakciju nisu značajno različite.

Tablica 1. Vrijednosti i razlike amplitude alfa valova prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	14.0 (6.5)			
Nakon treninga	14.9 (7.0)			
Nakon oporavka	15.7 (6.8)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	13.4 (6.0)			
Nakon treninga	15.3 (7.2)			
Nakon oporavka	13.8 (6.4)			

P<0.05

Prikaz 1. Vrijednosti amplitude alfa valova prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Alfa/theta – omjer amplitude alfa i theta valova

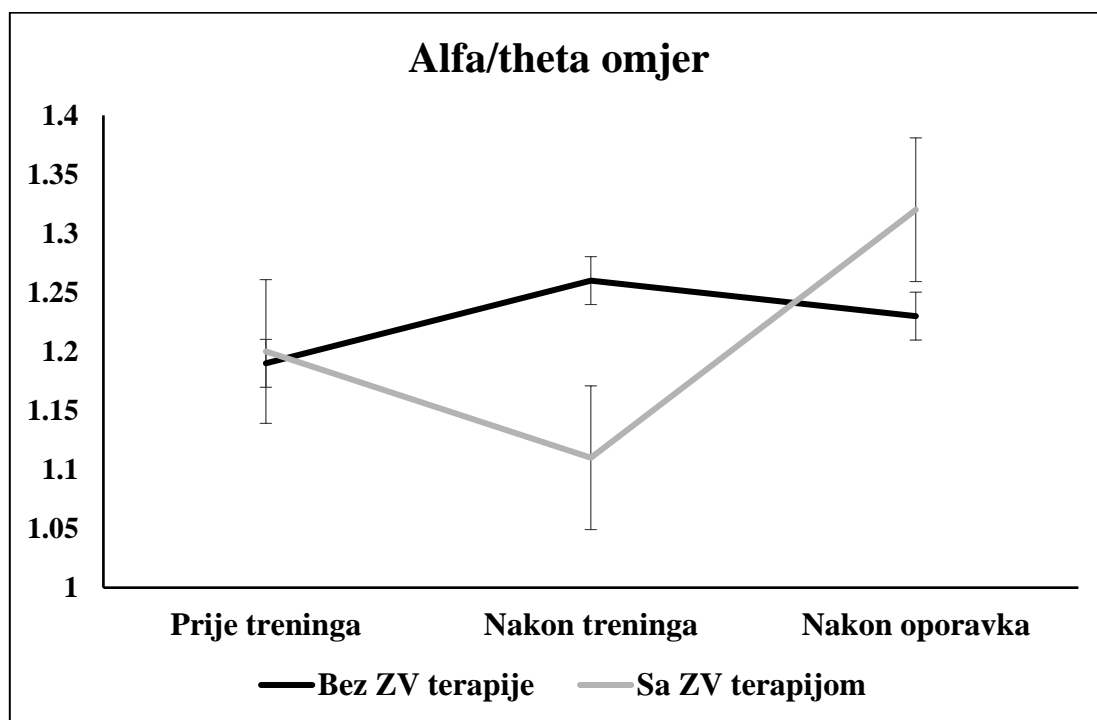
Omjer amplitude alfa i theta valova je sljedeća testirana varijabla (tablica 2 i prikaz 2). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.541$; $p = 0.745$). Glavni učinci vremena (prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka), intervencije (bez primjene i s primjenom ZV terapije), te njihova međusobna interakcija su pokazali, kako ne postoje značajne razlike među njima, što bi značilo kako se vrijednosti omjera alfa/theta valova s obzirom na vrijeme primjene, intervenciju, te njihovu interakciju ne razlikuju značajno i ne ovise o vremenu i tipu intervencije.

Tablica 2. Vrijednosti i razlike omjera alfa/theta valova prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	1.19 (0.39)			
Nakon treninga	1.26 (0.41)			
Nakon oporavka	1.23 (0.40)			
Sa ZV terapijom		0.791 (0.455; 0.011)	0.053 (0.818; 0.000)	1.220 (0.298; 0.017)
Prije treninga	1.20 (0.38)			
Nakon treninga	1.11 (0.33)			
Nakon oporavka	1.32 (0.37)			

P<0.05

Prikaz 2. Vrijednosti alfa/theta omjera prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



APF - vršna frekvencija alfa valova

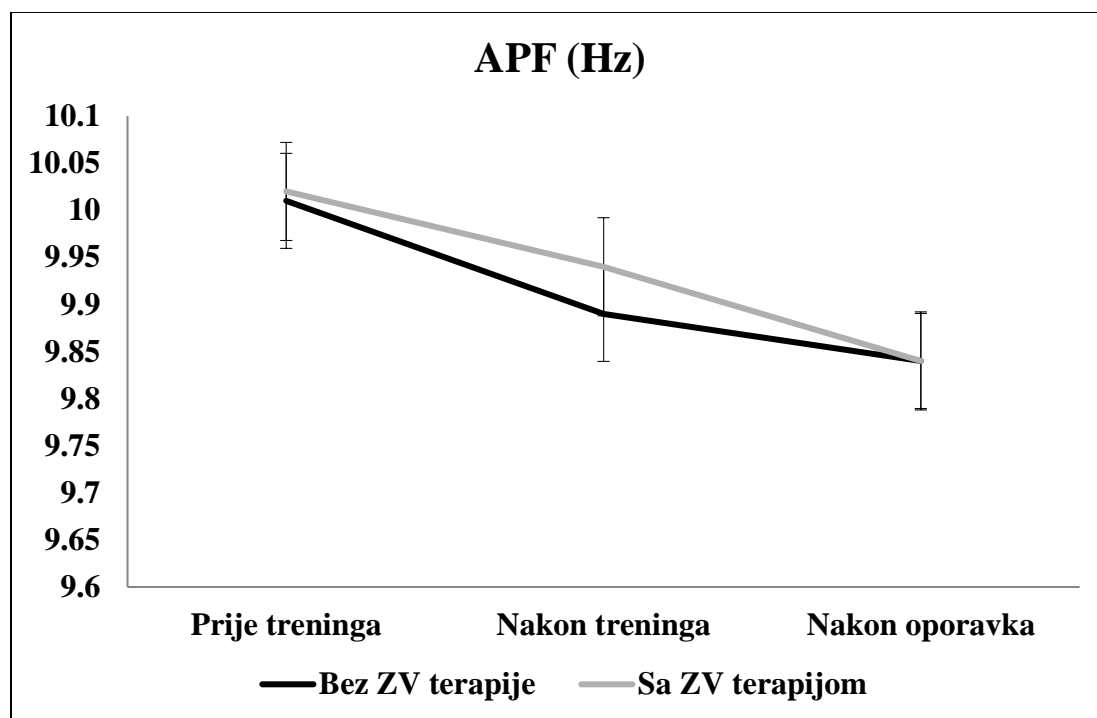
APF je sljedeća testirana varijabla (tablica 3 i prikaz 3). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.388$; $p = 0.856$). Glavni učinci vremena (prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka), intervencije (bez primjene i s primjenom ZV terapije), te njihova međusobna interakcija su pokazali, kako ne postoje značajne razlike među njima, što bi značilo kako vrijednosti APF-a s obzirom na vrijeme primjene, intervenciju, te njihovu interakciju nisu značajno različite i ne ovise o vremenu i tipu intervencije.

Tablica 3. Vrijednosti i razlike APF-a prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	10.01 (0.46)			
Nakon treninga	9.89 (0.39)			
Nakon oporavka	9.84 (0.37)			
Sa ZV terapijom		2.021 (0.136; 0.028)	0.076 (0.783; 0.001)	0.033 (0.968; 0.000)
Prije treninga	10.02 (0.40)			
Nakon treninga	9.94 (0.47)			
Nakon oporavka	9.84 (0.43)			

P<0.05

Prikaz 3. Vrijednosti APF-a prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Rezultati mjerenja AŽS-a

Rezultati vremenske domene srčanog ritma

HRVamp - amplituda varijabilnosti srčanog ritma

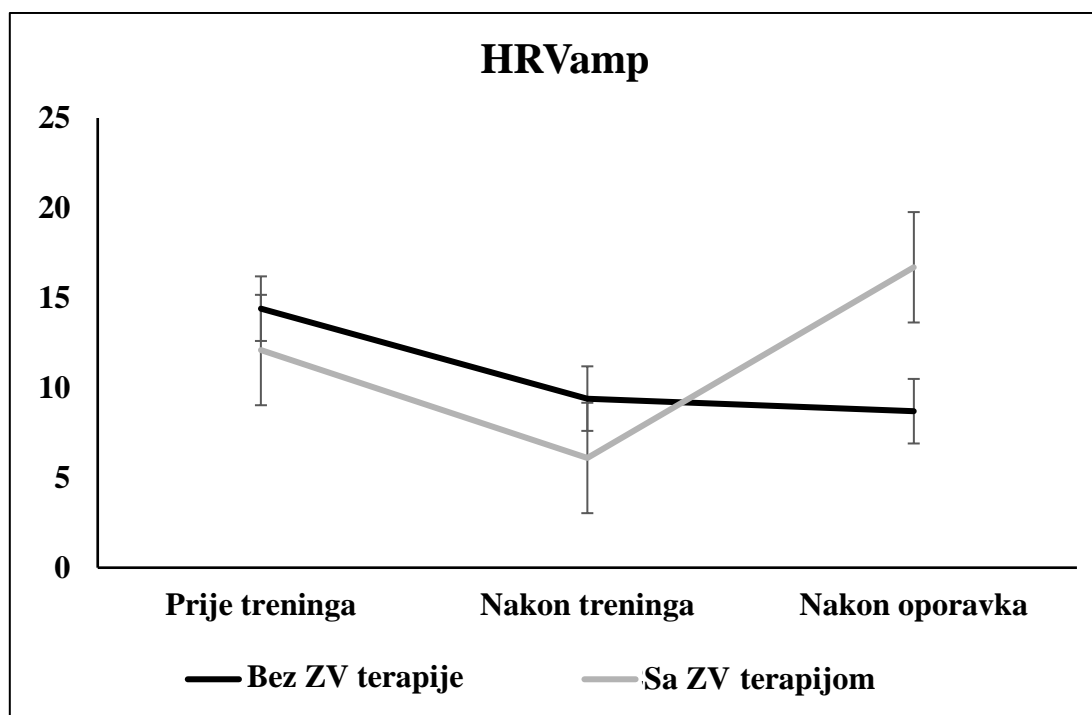
Uz frekvenciju i amplitudu disanja, sljedeća varijabla testirana za potrebe istraživanja je amplituda varijabilnosti srčanog ritma koja pokazuje vremensku razliku duljine maksimalnog i minimalnog NN intervala. (tablica 4 i prikaz 4). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.761$; $p = 0.191$). Iz tablice 8 je vidljivo, kako se vrijednosti amplitude varijabilnosti srčane frekvencije linearno smanjuju nakon treninga i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se povećavaju nakon oporavka uz primjenu ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike amplitude varijabilnosti srčane frekvencije prije treninga [AS = 13.25 (SD = 8.40)] i nakon treninga [AS = 7.77 (SD = 3.26); razlika aritmetičkih sredina = 5.47; 95% CI = 1.09 do 9.86; $p = 0.009$], te nakon treninga [AS = 7.77 (SD = 3.26)] i nakon oporavka [AS = 12.67 (SD = 8.23); razlika aritmetičkih sredina = -4.89; 95% CI = -9.28 do -0.51; $p = 0.023$], dok nisu dobivene značajne razlike u vrijednostima amplitude varijabilnosti srčane frekvencije prije treninga [AS = 13.25 (SD = 8.40)] i nakon oporavka [AS = 12.67 (SD = 8.23)]; razlika aritmetičkih sredina = -0.58; 95% CI = -5.00 do 3.81; $p = 1.000$]. **Analiza je također pokazala značajne glavne učinke interakcije vremena i intervencije.** Naime, pokazano je kako su vrijednosti aritmetičkih sredina amplitude varijabilnosti srčane frekvencije značajno veće nakon treninga bez primjene ZV terapije [BEZ AS = 9.4 (SD = 6.6) nasuprot SA AS = 6.1 (SD = 2.7); razlika aritmetičkih sredina = 3.31; 95% CI = 0.40 do 6.21; $p = 0.027$] s obzirom na primjenu ZV terapije, dok je vrijednost amplitude varijabilnosti srčane frekvencije nakon oporavka značajno veća uz primjenu ZV terapije [BEZ AS = 8.7 (SD = 3.3) nasuprot SA AS = 16.7 (SD = 13.9); razlika aritmetičkih sredina = -7.98; 95% CI = -13.85 do -2.11; $p = 0.011$].

Tablica 4. Vrijednosti i razlike amplitude varijabilnosti srčanog ritma prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	14.4 (12.5)			
Nakon treninga	9.4 (6.6)			
Nakon oporavka	8.7 (3.3)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	12.1 (7.8)			
Nakon treninga	6.1 (2.7)			
Nakon oporavka	16.7 (13.9)			

P<0.05

Prikaz 4. Vrijednosti amplitude varijabilnosti srčanog ritma prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



NNmin – minimalni NN interval

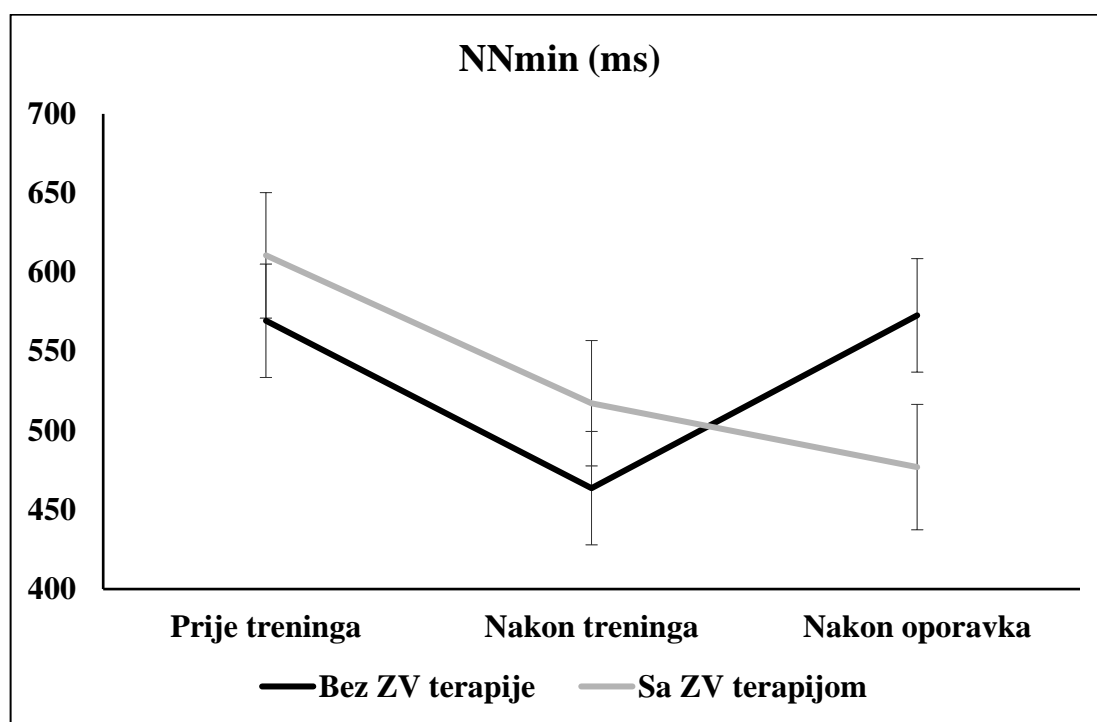
Prva varijabla testirana u sklopu vremenske domene varijabilnosti srčanog ritma je minimalni interval između dva NN otkucaja srca (NNmin) (tablica 5 i prikaz 5). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.595$; $p = 0.444$). Iz tablice 12 je vidljivo, kako se linearno smanjuju nakon treninga i nakon oporavka kod primjene ZV terapije, dok se povećavaju nakon oporavka bez primjene ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike NNmin prije treninga [AS = 590.06 ms (SD = 150.24)] i nakon treninga [AS = 490.52 ms (SD = 113.33)]; razlika aritmetičkih sredina = 99.5; 95% CI = 24.71 do 174.38; $p = 0.005$], dok nisu dobivene značajne razlike u vrijednostima prije treninga [AS = 590.06 ms (SD = 150.24)] i nakon oporavka [AS = 524.88 ms (SD = 131.30)]; razlika aritmetičkih sredina = 65.19; 95% CI = -9.65 do 140.02; $p = 0.110$], te nakon treninga [AS = 490.52 ms (SD = 113.33)] i nakon oporavka [AS = 524.88 ms (SD = 131.30)]; razlika aritmetičkih sredina = -34.35; 95% CI = -109.19 do 40.48; $p = 0.804$]. **Analiza je također pokazala značajne glavne učinke interakcije vremena i intervencije.** Naime, pokazano je kako su vrijednosti aritmetičke sredine NNmin značajno manje nakon oporavka s primjenom ZV terapije [BEZ AS = 572.8 ms (SD = 130.0) nasuprot SA AS = 477.0 ms (SD = 131.0)]; razlika aritmetičkih sredina = 95.92; 95% CI = 20.01 do 171.76; $p = 0.014$], dok nije došlo do statistički značajnih razlika prije i nakon treninga bez i s primjenom ZV terapije .

Tablica 5. Vrijednosti i razlike NNmin srca prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	569.4 (193.6)			
Nakon treninga	463.7 (129.5)			
Nakon oporavka	572.8 (130.0)	5.362 (0.006; 0.072)	0.000 (0.989; 0.000)	3.613 (0.030; 0.050)
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	610.7 (187.8)			
Nakon treninga	517.3 (117.2)			
Nakon oporavka	477.0 (131.0)			

P<0.05

Prikaz 5. Vrijednosti NNmin prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



NNmax – maksimalni NN interval

Druga varijabla testirana u sklopu vremenske domene varijabilnosti srčanog ritma je maksimalni interval između dva NN otkucaja srca (NNmax) (tablica 6 i prikaz 6). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.695$; $p = 0.343$). Iz tablice 13 je vidljivo, kako se vrijednosti NNmax linearno smanjuju nakon treninga i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se povećavaju nakon oporavka s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike NNmax prije treninga [AS = 1361.17 ms (SD = 342.1)] i nakon treninga [AS = 902.17 ms (SD = 100.05); razlika aritmetičkih sredina = 459.00; 95% CI = 309.84 do 608.17; $p < 0.001$], prije treninga [AS = 1361.17 ms (SD = 342.1)] i nakon oporavka [AS = 1074.10 ms (SD = 300.10); razlika aritmetičkih sredina = 287.06; 95% CI = 137.90 do 436.23; $p < 0.001$], te nakon treninga [AS = 902.17 ms (SD = 100.05)] i nakon oporavka [AS = 1074.10 ms (SD = 300.10); razlika aritmetičkih sredina = -171.94; 95% CI = -321.10 do -22.77; $p = 0.018$].

Analiza je također pokazala značajne glavne učinke interakcije vremena i intervencije.

Naime, pokazano je kako su vrijednosti aritmetičke sredine NNmax značajno manje nakon

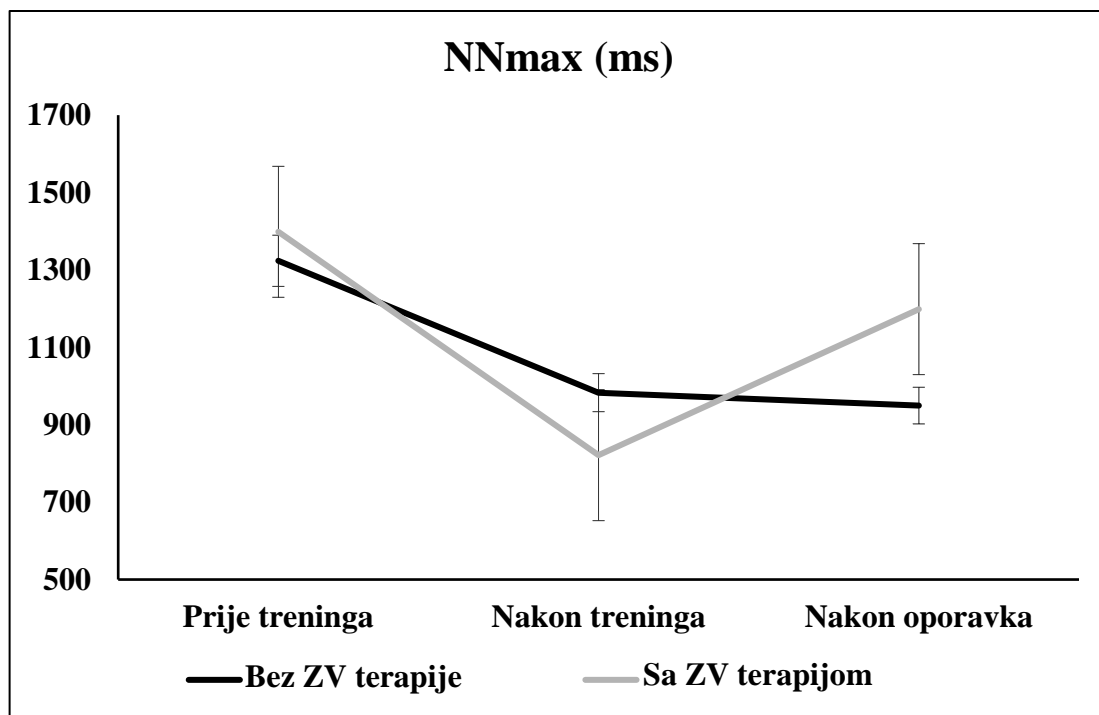
oporavka bez primjene ZV terapije [BEZ AS = 949.5 (SD = 203.8) nasuprot SA AS = 1198.7 (SD = 275.1); razlika aritmetičkih sredina = -249.13; 95% CI = -389.81 do -108.44; $p < 0.001$], dok nije došlo do statistički značajnih razlika prije i nakon treninga bez i s primjenom ZV terapije.

Tablica 6. Vrijednosti i razlike NNmax prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	1323.7 (323.6)	28.390 (< 0001; 0.292)	1.161 (0.283; 0.008)	5.606 (0.005; 0.075)
Nakon treninga	982.9 (387.3)			
Nakon oporavka	949.5 (203.8)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	1398.6 (338.2)	28.390 (< 0001; 0.292)	1.161 (0.283; 0.008)	5.606 (0.005; 0.075)
Nakon treninga	821.4 (243.3)			
Nakon oporavka	1198.7 (275.1)			

$P < 0.05$

Prikaz 6. Vrijednosti NNmax prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



NNmean – prosječni NN interval

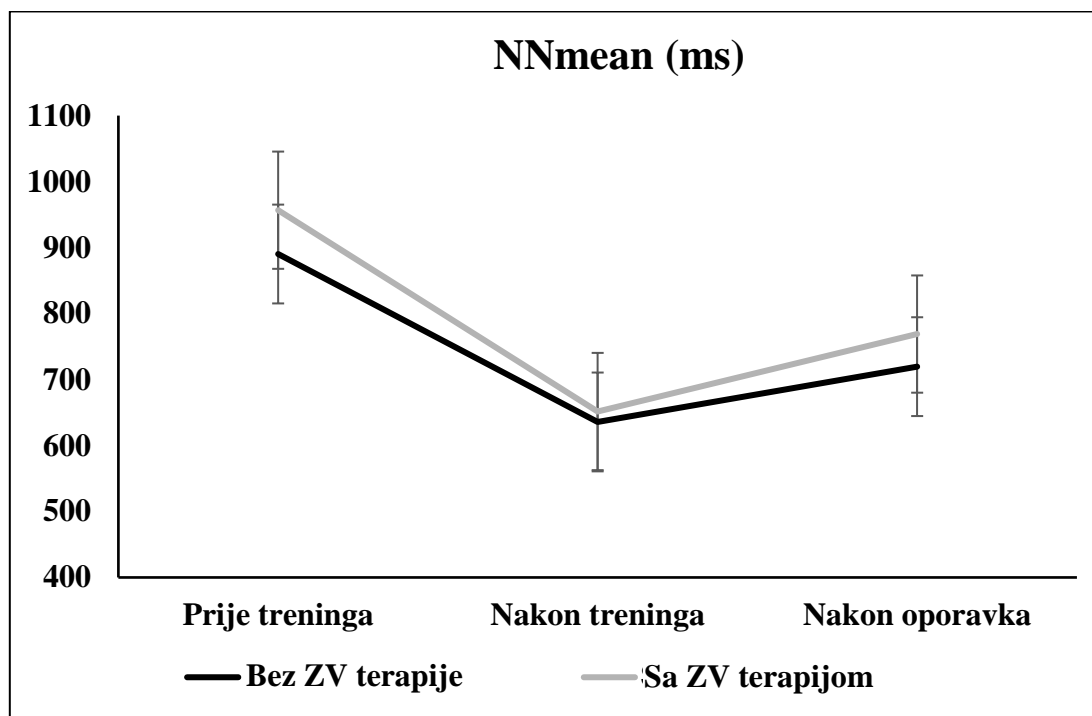
Treća varijabla testirana u sklopu vremenske domene varijabilnosti srčanog ritma je prosječni interval između dva NN otkucaja srca (NNmean) (tablica 7 i prikaz 7). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 2.135$; $p = 0.065$). Iz tablice 14 je vidljivo, kako se vrijednosti NNmean smanjuju nakon treninga, te se povećavaju nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike NNmean otkucaja srca prije treninga [AS = 923.39 ms (SD = 244.68)] i nakon treninga [AS = 643.41 ms (SD = 190.10); razlika aritmetičkih sredina = 279.78; 95% CI = 226.32 do 333.24; $p < 0.001$], prije treninga [AS = 923.39 ms (SD = 244.68)] i nakon oporavka [AS = 744.16 ms (SD = 202.34); razlika aritmetičkih sredina = 179.22; 95% CI = 125.76 do 232.68; $p < 0.001$], te nakon treninga [AS = 643.41 ms (SD = 190.10)] i nakon oporavka [AS = 744.16 ms (SD = 202.34); razlika aritmetičkih sredina = -100.56; 95% CI = -154.02 do -47.09; $p < 0.001$]. Također je analiza pokazala značajne glavne učinke kod intervencije. Naime, pokazano je kako su vrijednosti aritmetičke sredine NNmean značajno manje bez primjene ZV terapije [BEZ AS = 748.5 (SD = 147.9) nasuprot SA AS = 792.3 (SD = 168.0); razlika aritmetičkih sredina = -43.86; 95% CI = -100.00 do -8.27; $p = 0.049$]. U interakciji vremena i intervencije nije došlo do statističkih značajnih učinaka ($p > 0.05$).

Tablica 7. Vrijednosti i razlike prosječnog intervala između dva NN otkucaja srca prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	890.2 (140.1)			
Nakon treninga	635.7 (66.8)			
Nakon oporavka	719.5 (91.3)			
		82.544 (< 0.001; 0.545)	5.930 (0.016; 0.041)	0.685 (0.506; 0.010)
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	956.6 (119.1)			
Nakon treninga	651.5 (81.9)			
Nakon oporavka	768.9 (129.4)			

P<0.05

Prikaz 7. Vrijednosti NNmean prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



NN50 - broj parova NN intervala različitih za više od 50 milisekundi

Sljedeća varijabla testirana u sklopu vremenske domene varijabilnosti srčanog ritma je broj parova NN intervala koji se razlikuju za više od 50 milisekundi (NN50) (tablica 8 i prikaz 8). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.231$; $p = 0.114$). Iz tablice 17 je vidljivo, kako se vrijednosti NN50 linearno smanjuju nakon treninga i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se povećavaju nakon oporavka s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike NN50 prije treninga [AS = 101.44 (SD = 75.20)] i nakon treninga [AS = 14.27 (SD = 10.22); razlika aritmetičkih sredina = 87.11; 95% CI = 52.04 do 122.29; $p < 0.001$], prije treninga [AS = 101.44 (SD = 75.20)] i nakon oporavka [AS = 60.35 (SD = 45.21); razlika aritmetičkih sredina = 41.08; 95% CI = 5.96 do 76.21; $p = 0.016$], te nakon treninga [AS = 14.27 (SD = 10.22)] i nakon oporavka [AS = 60.35 (SD = 45.21); razlika aritmetičkih sredina = -46.08; 95% CI = -81.21 do -11.00; $p = 0.005$]. Također je analiza pokazala značajne glavne učinke kod intervencije. Pokazano je, kako su NN50 vrijednosti aritmetičke sredine značajno manji bez primjene ZV terapije, u odnosu na primjenu ZV terapije [BEZ = 45.2 (68.7) nasuprot SA = 72.2 (92.8); razlika aritmetičkih sredina = -27.04; 95% CI = -53.94 do -0.14; $p = 0.049$]. Na

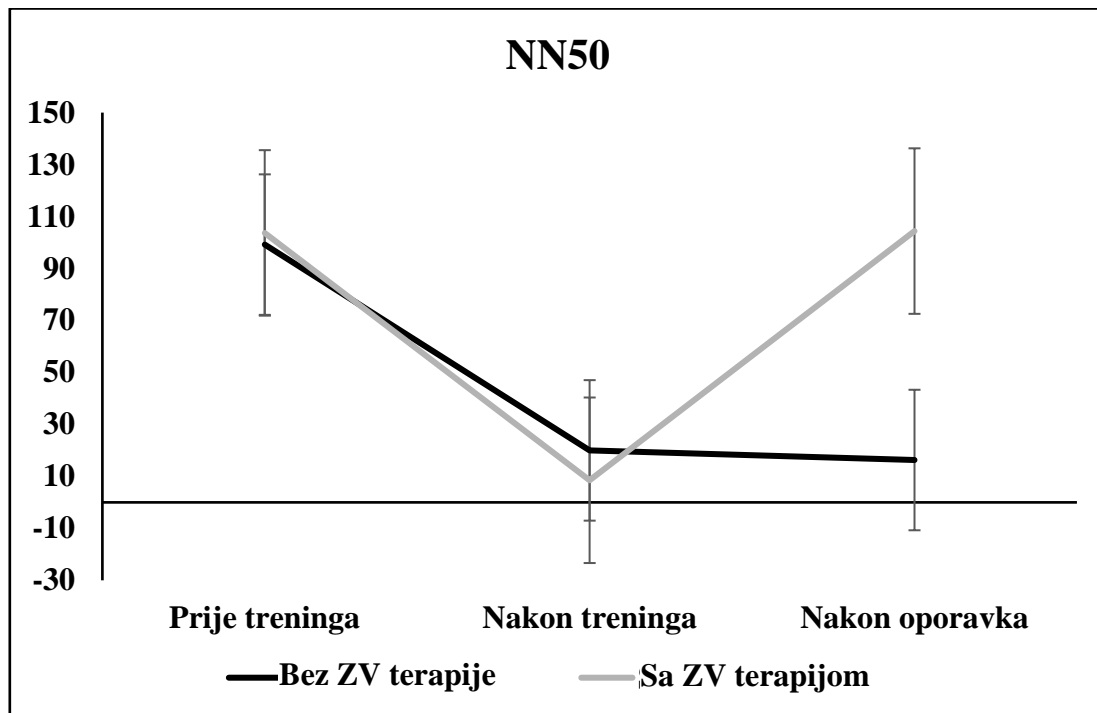
kraju, **analiza je pokazala značajne glavne učinke u interakciji vremena i intervencije**, što bi značilo kako su NN50 vrijednosti značajno manje nakon oporavka bez primjene ZV terapije [BEZ AS = 16.3 (SD = 18.7) nasuprot SA AS = 104.4 (SD = 118.5); razlika aritmetičkih sredina = -88.13; 95% CI = -137.42 do -38.83; $p < 0.001$], dok nije došlo do statistički značajnih razlika prije i nakon treninga.

Tablica 8. Vrijednosti i razlike NN50 prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	99.2 (94.0)			
Nakon treninga	20.0 (28.3)			
Nakon oporavka	16.3 (18.7)			
		18.105 (< 0.001; 0.208)	5.222 (0.024; 0.036)	6.811 (0.002; 0.090)
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	103.7 (78.1)			
Nakon treninga	8.5 (10.3)			
Nakon oporavka	104.4 (118.5)			

P<0.05

Prikaz 8. Vrijednosti NN50 prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



pNN50 - udio NN50 intervala

Sljedeća varijabla testirana u sklopu vremenske domene varijabilnosti srčanog ritma je mjera udjela NN50 intervala u ukupnom broju NN intervala mjenjenog perioda (pNN50) (tablica 9 i prikaz 9). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.031$; $p = 0.434$). Iz tablice 18 je vidljivo, kako se pNN50 vrijednosti linearno smanjuju nakon treninga i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se povećavaju nakon oporavka s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike pNN50 prije treninga [AS = 22.00 (SD = 15.43)] i nakon treninga [AS = 3.36 (SD = 2.10); razlika aritmetičkih sredina = 18.45; 95% CI = 12.16 do 25.14; $p < 0.001$], prije treninga [AS = 22.00 (SD = 15.43)] i nakon oporavka [AS = 11.18 (SD = 9.43); razlika aritmetičkih sredina = 10.82; 95% CI = 4.33 do 17.31; $p < 0.001$], te nakon treninga [AS = 3.36 (SD = 2.10)] i nakon oporavka [AS = 11.18 (SD = 9.43); razlika aritmetičkih sredina = -7.82; 95% CI = -14.31 do -1.34; $p = 0.012$]. Također je analiza pokazala značajne glavne učinke kod intervencije. Pokazano je, kako su pNN50 vrijednosti aritmetičke sredine značajno manje bez primjene ZV terapije, u odnosu na primjenu ZV terapije [BEZ = 9.8 (13.5) nasuprot SA =

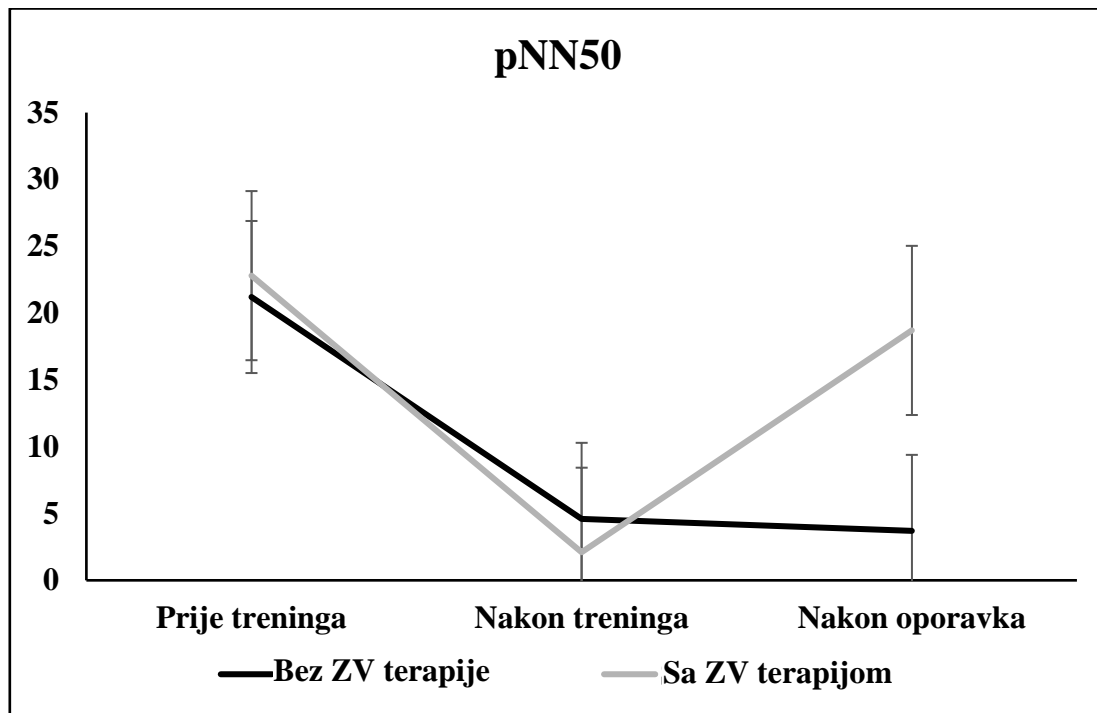
14.5 (17.3); razlika aritmetičkih sredina = -4.67; 95% CI = -9.48 do -0.44; $p = 0.050$]. Na kraju, **analiza je pokazala značajne glavne učinke u interakciji vremena i intervencije**, što bi značilo kako su vrijednosti značajno manje nakon oporavka bez primjene ZV terapije [BEZ AS = 3.7 (SD = 4.0) nasuprot SA AS = 18.7 (SD = 18.8); razlika aritmetičkih sredina = -14.98; 95% CI = -22.88 do -7.07; $p < 0.001$], dok nije došlo do statistički značajnih razlika prije i nakon treninga.

Tablica 9. Vrijednosti i razlike pNN50 prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	21.2 (17.3)			
Nakon treninga	4.6 (6.6)			
Nakon oporavka	3.7 (4.0)	24.461 (< 0.001; 0.262)	4.557 (0.035; 0.032)	5.853 (0.004; 0.078)
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	22.8 (17.7)			
Nakon treninga	2.1 (2.5)			
Nakon oporavka	18.7 (18.8)			

P<0.05

Prikaz 9. Vrijednosti pNN50 prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



SDNN - standardna devijacija uzastopnih NN intervala

Sljedeća varijabla testirana u sklopu vremenske domene varijabilnosti srčanog ritma je standardna devijacija između uzastopnih NN intervala (Standard Deviation of NN Intervals - SDNN) (tablica 10 i prikaz 10). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.136$; $p = 0.714$). Iz tablice 15 je vidljivo, kako se vrijednosti SDNN linearno smanjuju nakon treninga i ostaju u tim vrijednostima i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se povećavaju nakon oporavka s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike varijabilnosti SDNN prije treninga [AS = 83.49 ms (SD = 36.22)] i nakon treninga [AS = 34.56 ms (SD = 17.20); razlika aritmetičkih sredina = 48.91; 95% CI = 32.84 do 65.00; $p < 0.001$], prije treninga [AS = 83.49 ms (SD = 36.22)] i nakon oporavka [AS = 57.81 ms (SD = 26.22); razlika aritmetičkih sredina = 25.69; 95% CI = 9.61 do 41.80; $p < 0.001$], te nakon treninga [AS = 34.56 ms (SD = 17.20)] i nakon oporavka [AS = 57.81 ms (SD = 26.22); razlika aritmetičkih sredina = -23.23; 95% CI = -39.30 do -7.16; $p = 0.002$]. **Analiza je također pokazala značajne glavne učinke interakcije vremena i intervencije.** Naime, pokazano je kako su

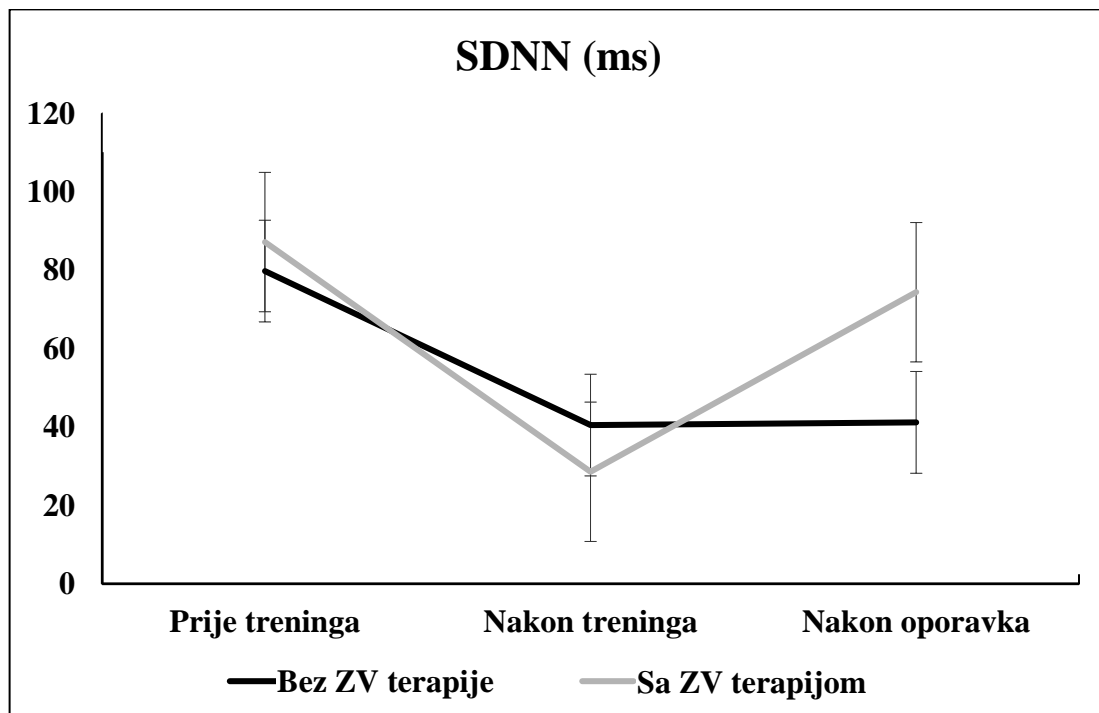
vrijednosti aritmetičke sredine SDNN značajno manje nakon oporavka bez primjene ZV terapije [BEZ AS = 41.2 (SD = 19.8) nasuprot SA AS = 74.4 (SD = 37.7); razlika aritmetičkih sredina = -33.20; 95% CI = -50.71 do -15.68; $p < 0.001$], dok nije došlo do statistički značajnih razlika prije i nakon treninga bez i s primjenom ZV terapije.

Tablica 10. Vrijednosti i razlike SDNN prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	79.8 (39.8)			
Nakon treninga	40.5 (33.7)			
Nakon oporavka	41.2 (19.8)	27.222 (< 0.001; 0.283)	3.111 (0.080; 0.022)	5.823 (0.004; 0.078)
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	87.2 (40.6)			
Nakon treninga	28.6 (12.0)			
Nakon oporavka	74.4 (37.7)			

P<0.05

Prikaz 10. Vrijednosti SDNN prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



RMSSD - drugi korijen srednje vrijednosti uzastopnih razlika NN intervala

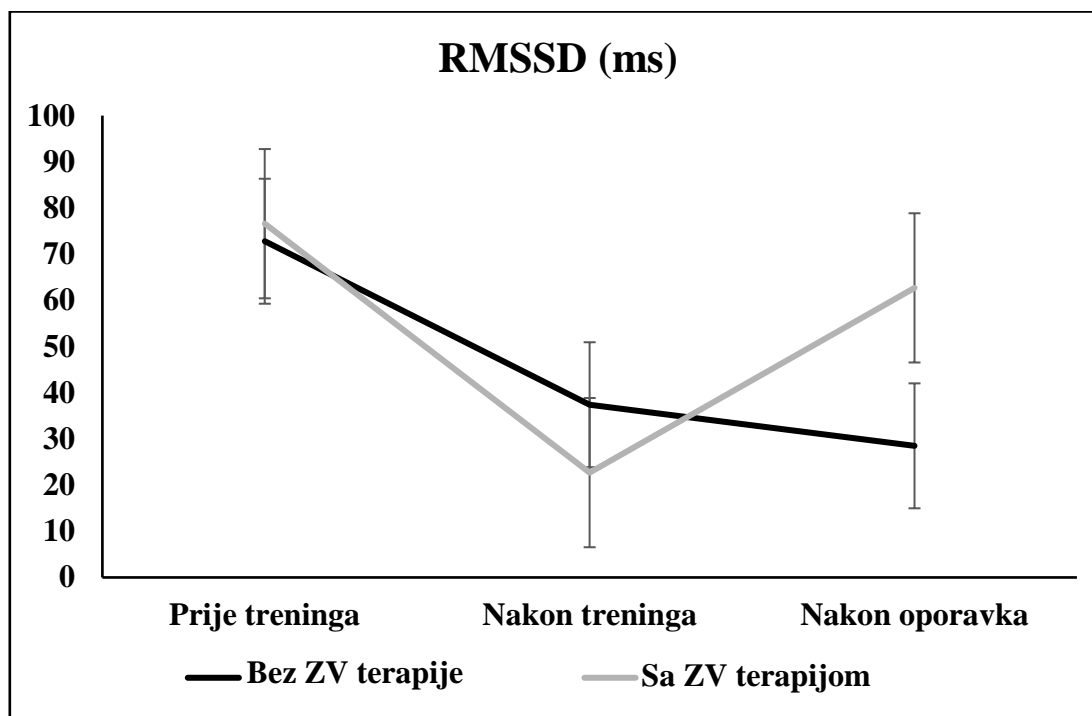
Sljedeća varijabla testirana u sklopu vremenske domene varijabilnosti srčanog ritma je drugi korijen srednje vrijednosti uzastopnih razlika NN intervala (Root Mean Square of Successive Differences - RMSSD) (tablica 11 i prikaz 11). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.591$; $p = 0.214$). Iz tablice 16 je vidljivo, kako se RMSSD vrijednosti linearno smanjuju nakon treninga i ostaju u tim vrijednostima i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se povećavaju nakon oporavka s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike RMSSD-a prije treninga [AS = 74.73 ms (SD = 25.73)] i nakon treninga [AS = 30.03 ms (SD = 26.22); razlika aritmetičkih sredina = 44.69; 95% CI = 27.64 do 61.75; $p < 0.001$], te prije treninga [AS = 74.73 ms (SD = 25.73)] i nakon oporavka [AS = 45.59 ms (SD = 15.73); razlika aritmetičkih sredina = 29.14; 95% CI = 12.09 do 46.20; $p < 0.001$]. **Analiza je također pokazala značajne glavne učinke interakcije vremena i intervencije.** Naime, pokazano je kako su RMSSD vrijednosti aritmetičke sredine značajno manje nakon oporavka bez primjene ZV terapije [BEZ AS = 37.4 ms (SD = 33.1) nasuprot SA AS = 22.7 ms (SD = 13.6); razlika aritmetičkih sredina = 14.73; 95% CI = 0.01 do 29.45; $p = 0.050$], dok su vrijednosti RMSSD-a bile značajno veće nakon oporavka s primjenom ZV terapije [BEZ AS = 28.5 ms (SD = 13.0) nasuprot SA AS = 62.7 ms (SD = 40.8); razlika aritmetičkih sredina = -34.24; 95% CI = -51.84 do -16.64; $p < 0.001$].

Tablica 11. Vrijednosti i razlike RMSSD-a prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme $F (p - \text{vrijednost}; \text{eta})$	Intervencija $F (p - \text{vrijednost}; \text{eta})$	Vrijeme*intervencija $F (p - \text{vrijednost}; \text{eta})$
Bez ZV terapije				
Prije treninga	72.8 (39.2)			
Nakon treninga	37.4 (33.1)			
Nakon oporavka	28.5 (13.0)	20.791 (< 0.001; 0.232)	1.823 (0.179; 0.013)	6.173 (0.003; 0.082)
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	76.6 (49.7)			
Nakon treninga	22.7 (13.6)			
Nakon oporavka	62.7 (40.8)			

P<0.05

Prikaz 11. Vrijednosti RMSSD-a prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Rezultati frekvencijske domene srčanog ritma

VLf - komponenta vrlo niske frekvencije

Sljedeća varijabla koja je testirana kroz sva tri mjerenja bez i s primjenom ZV terapije je prva varijabla frekvencijske analize – komponenta vrlo niske frekvencije (VLf – *very low frequency*). (tablica 12 i prikaz 12). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.952$; $p = 0.461$). Iz tablice 19 je vidljivo, kako se vrijednosti VLf-a smanjuju nakon treninga, te se povećavaju nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike VLf-a prije [AS = 1508.77 ms² (SD = 1302.44)] i nakon treninga [AS = 255.68 ms² (SD = 332.12); razlika aritmetičkih sredina = 1253.08; 95% CI = 582.30 do 1923.86; $p < 0.001$], te nakon treninga [AS = 255.68 ms² (SD = 332.12)] i nakon oporavka [AS = 925.56 ms² (SD = 750.44); razlika aritmetičkih sredina = -669.88; 95% CI = -1340.66 do 0.90; $p = 0.050$], dok nisu dobivene značajne razlike u vrijednostima VLf-a prije treninga [AS = 1508.77 ms² (SD = 1302.44)] i nakon oporavka [AS = 925.56 ms² (SD = 750.44); razlika aritmetičkih sredina =

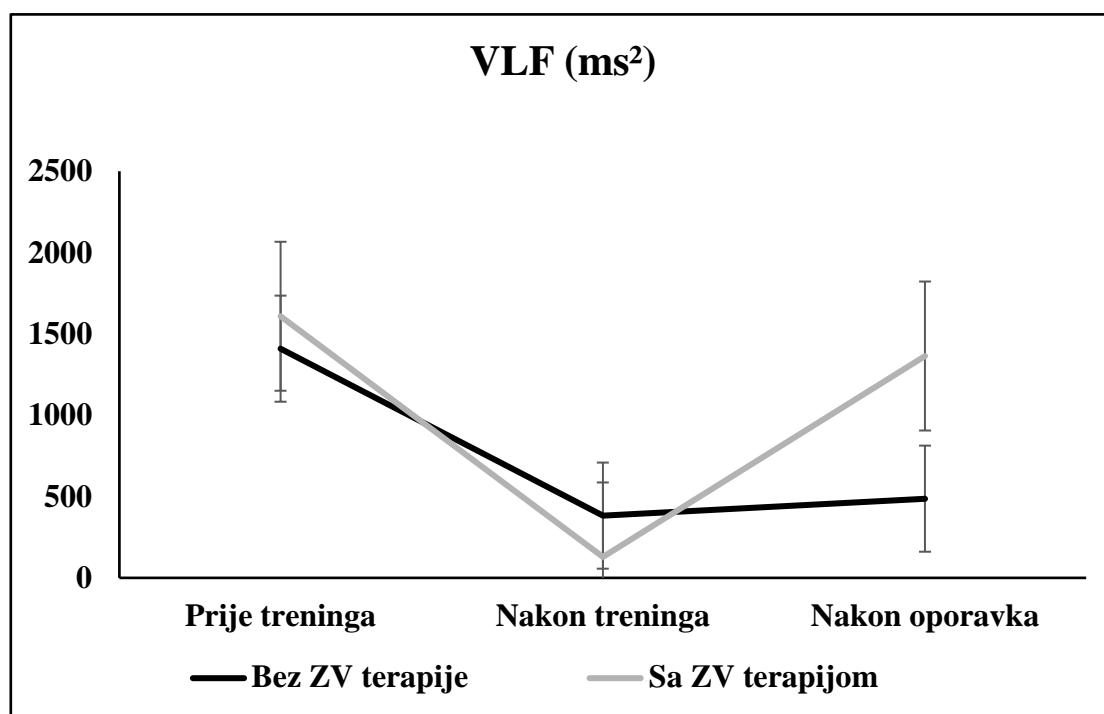
583.20; 95% CI = -87.58 do 1253.98; $p = 0.111$]. Glavni učinci intervencije i interakcije vremena i intervencije nisu se pokazali statistički značajnim ($p > 0.05$).

Tablica 12. Vrijednosti i razlike VLF-a prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme $F(p - \text{vrijednost}; \text{eta})$	Intervencija $F(p - \text{vrijednost}; \text{eta})$	Vrijeme*intervencija $F(p - \text{vrijednost}; \text{eta})$
Bez ZV terapije				
Prije treninga	1409.1 (1584.4)			
Nakon treninga	382.7 (863.5)			
Nakon oporavka	487.1 (732.6)			
Sa ZV terapijom		10.265 (< 0.001; 0.130)	1.471 (0.227; 0.011)	2.114 (0.125; 0.030)
Prije treninga	1608.4 (2339.1)			
Nakon treninga	128.7 (121.8)			
Nakon oporavka	1364.0 (1324.0)			

$P < 0.05$

Prikaz 12. Vrijednosti VLF-a prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



LF - komponenta niske frekvencije

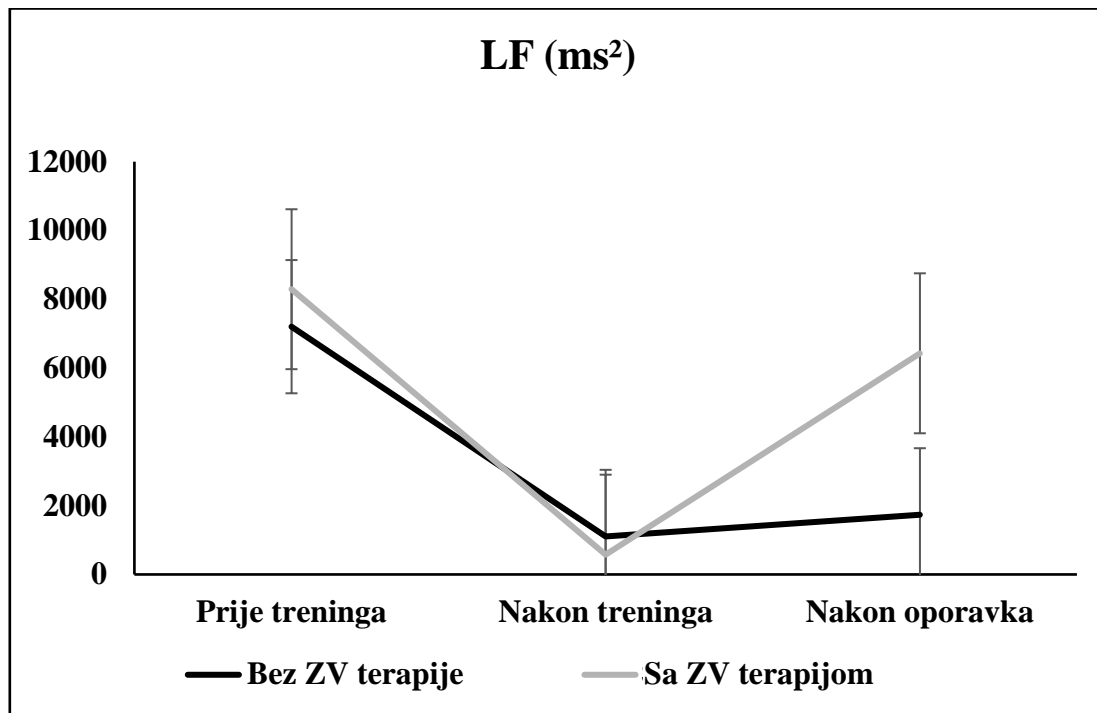
Sljedeća varijabla testirana kroz sva tri mjerenja bez i s primjenom ZV terapije je komponenta niske frekvencije (LF - *low frequency*) (tablica 13 i prikaz 13). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.952$; $p = 0.061$). Iz tablice 20 je vidljivo, kako se LF vrijednosti smanjuju nakon treninga, te se povećavaju nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike u vrijednostima niske frekvencije prije [AS = 7748.16 ms² (SD = 8923.22)] i nakon treninga [AS = 840.58 ms² (SD = 932.44)]; razlika aritmetičkih sredina = 6907.59; 95% CI = 3796.35 do 10018.93; $p < 0.001$], prije treninga [AS = 7748.16 ms² (SD = 8923.22)] i nakon oporavka [AS = 4081.26 ms² (SD = 3223.13)]; (razlika aritmetičkih sredina = 3667.90; 95% CI = 555.66 do 6778.14; $p = 0.015$], te nakon treninga [AS = 840.58 ms² (SD = 932.44)] i nakon oporavka [AS = 4081.26 ms² (SD = 3223.13)]; razlika aritmetičkih sredina = -3240.68; 95% CI = -6351.92 do -129.44; $p = 0.038$]. Glavni učinci intervencije i interakcije vremena i intervencije nisu se pokazali statistički značajnim ($p > 0.05$).

Tablica 13. Vrijednosti i razlike LF-a prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	7203.6 (8583.1)	14.494 (< 0.001; 0.174)	2.793 (0.097; 0.020)	2.172 (0.118; 0.031)
Nakon treninga	1105.6 (2023.5)			
Nakon oporavka	1733.1 (1830.8)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	8292.7 (10817.5)			
Nakon treninga	575.5 (809.4)			
Nakon oporavka	6429.4 (6207.5)			

P<0.05

Prikaz 13. Vrijednosti LF-a prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



%LF - postotak niskofrekventne komponente

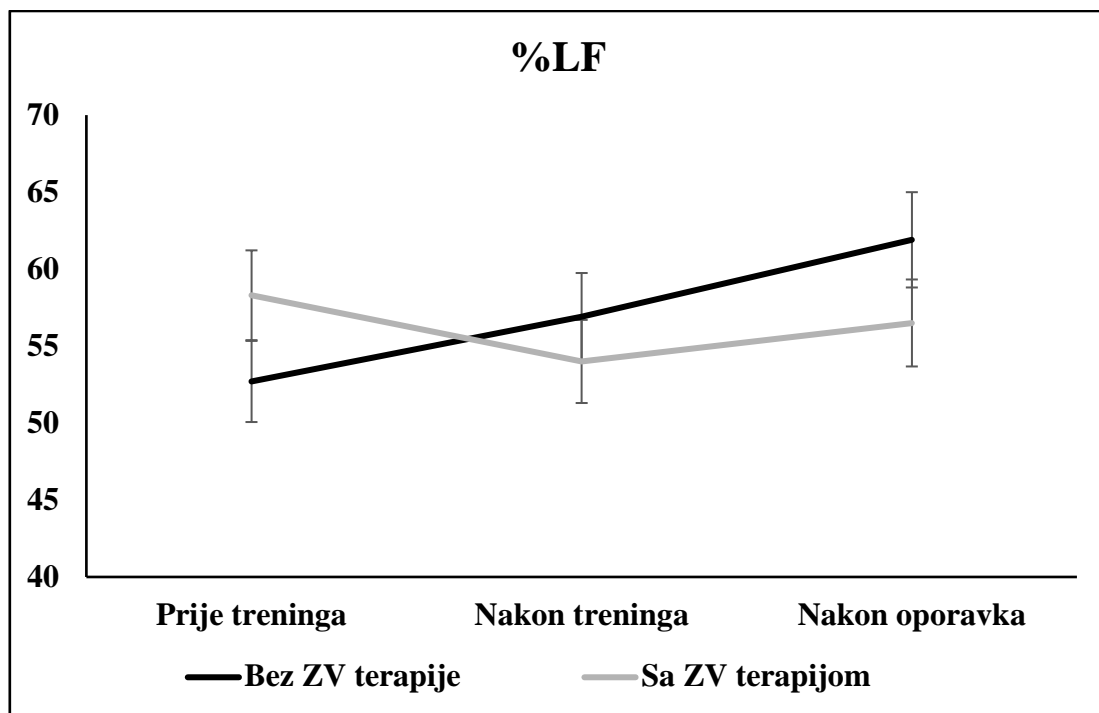
Postotak niskofrekventne komponente je sljedeća testirana varijabla (tablica 14 i prikaz 14). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.254$; $p = 0.288$). Iz tablice 23 je vidljivo, kako se vrijednosti postotka niskofrekventne komponente povećavaju nakon treninga i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se smanjuju nakon treninga i neznatno povećavaju nakon oporavka uz primjenu ZV terapije. Glavni učinci vremena (prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka), intervencije (bez primjene i s primjenom ZV terapije), te njihova međusobna interakcija su pokazali, kako ne postoje značajne razlike među njima, što bi značilo kako vrijednosti postotka niskofrekventne komponente s obzirom na vrijeme primjene, intervenciju, te njihovu interakciju nisu međusobno značajno različite i ne ovise o vremenu i tipu intervencije.

Tablica 14. Vrijednosti i razlike %LF prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	52.7 (17.1)			
Nakon treninga	56.9 (14.8)			
Nakon oporavka	61.9 (19.7)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	58.3 (14.5)			
Nakon treninga	54.0 (18.8)			
Nakon oporavka	56.5 (13.8)			

P<0.05

Prikaz 14. Vrijednosti %LF prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



HF - komponenta visoke frekvencije

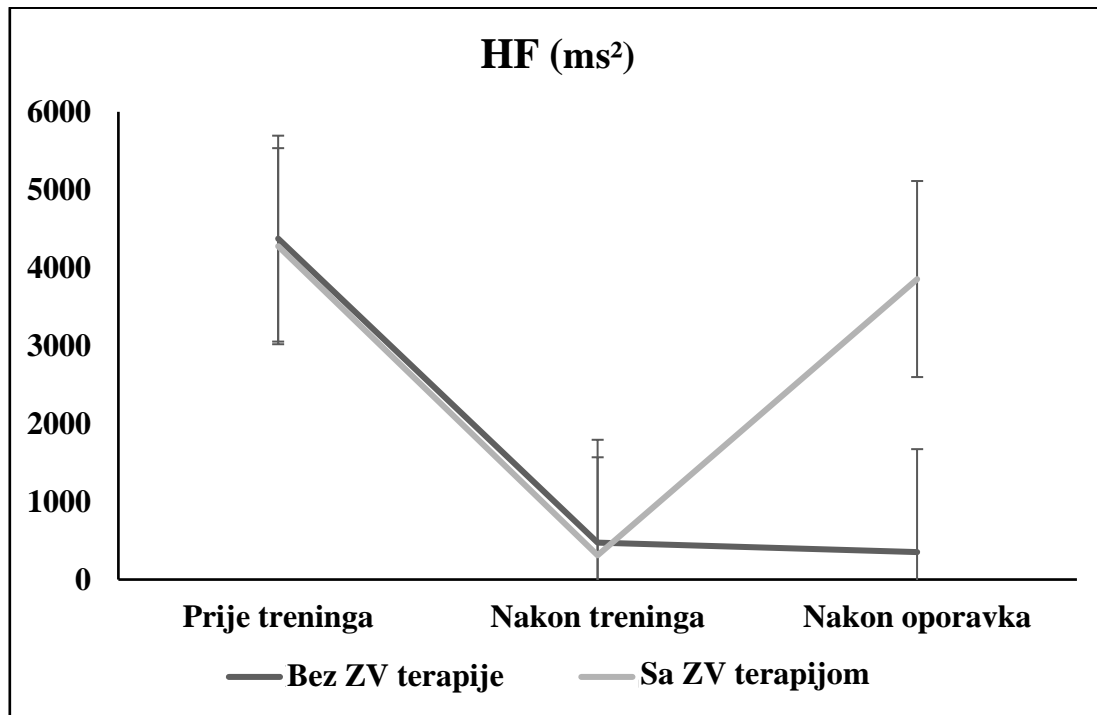
Sljedeća varijabla testirana kroz sva tri mjerenja bez i s primjenom ZV terapije je visoka frekvencija (HF – *high frequency*) (tablica 15 i prikaz 15). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.432$; $p = 0.184$). Iz tablice 21 je vidljivo, kako se HF vrijednosti smanjuju nakon treninga i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se povećavaju nakon treninga uz primjenu ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike u vrijednostima visoke frekvencije prije [AS = 4324.71 ms² (SD = 6533.21)] i nakon treninga [AS = 391.33 ms² (SD = 571.56)]; razlika aritmetičkih sredina = 3933.38; 95% CI = 1809.06 do 6057.69; $p < 0.001$], te prije treninga [AS = 4324.71 ms² (SD = 6533.21)] i nakon oporavka [AS = 2103.41 ms² (SD = 4003.18)]; razlika aritmetičkih sredina = 2221.30; 95% CI = 97.00 do 4345.62; $p = 0.037$], dok nije došlo do statistički značajnih razlika u vrijednostima HF nakon treninga [AS = 391.33 ms² (SD = 571.56)] i nakon oporavka [AS = 2103.41 ms² (SD = 4003.18)]; razlika aritmetičkih sredina = -1712.08; 95% CI = -3836.39 do 412.24; $p = 0.158$). **Glavni učinci intervencije i interakcije vremena i intervencije su se pokazali statistički značajnima**, gdje su se vrijednosti visoke frekvencije značajno povećali nakon oporavka uz primjenu ZV terapije, dok su vrijednosti visoke frekvencije bez primjene ZV terapije ostali nepromijenjeni.

Tablica 15. Vrijednosti i razlike HF-a prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	4373.2 (5996.8)	10.125 (< 0.001; 0.128)	2.283 (0.133; 0.016)	2.862 (0.049; 0.040)
Nakon treninga	472.1 (951.2)			
Nakon oporavka	352.0 (264.5)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	4276.2 (6810.9)	10.125 (< 0.001; 0.128)	2.283 (0.133; 0.016)	2.862 (0.049; 0.040)
Nakon treninga	310.6 (726.8)			
Nakon oporavka	3854.9 (5175.6)			

P<0.05

Prikaz 15. Vrijednosti HF-a prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



%HF - postotak visokofrekventne komponente

Zadnja varijabla testirana je mjera postotka visokofrekventne komponente (tablica 16 i prikaz 16). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 3.945$; $p = 0.053$). Iz tablice 24 je vidljivo, kako se %HF vrijednosti linearno smanjuju nakon treninga i ostaju u tim vrijednostima i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se povećavaju nakon oporavka s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike postotka visokofrekventne komponente prije treninga [AS = 30.62 (SD = 16.12)] i nakon treninga [AS = 23.50 (SD = 11.04); razlika aritmetičkih sredina = 7.12; 95% CI = 0.39 do 13.86; $p = 0.034$], te prije treninga [AS = 30.62 (SD = 16.12)] i nakon oporavka [AS = 22.85 (SD = 10.10); razlika aritmetičkih sredina = 7.77; 95% CI = 1.03 do 14.50; $p = 0.018$], dok nije došlo do statistički značajnih razlika nakon treninga [AS = 23.50 (SD = 11.04)] i nakon oporavka [AS = 22.85 (SD = 10.10); razlika aritmetičkih sredina = 0.64; 95% CI = -6.09 do 7.38; $p = 1.000$]. **Analiza je također pokazala značajne glavne učinke interakcije vremena i intervencije.** Naime, dobiveno je kako su vrijednosti aritmetičkih sredina postotka visokofrekventne komponente značajno više nakon treninga s primjenom ZV terapije [BEZ AS = 16.8 (SD = 8.2) nasuprot SA AS = 28.9

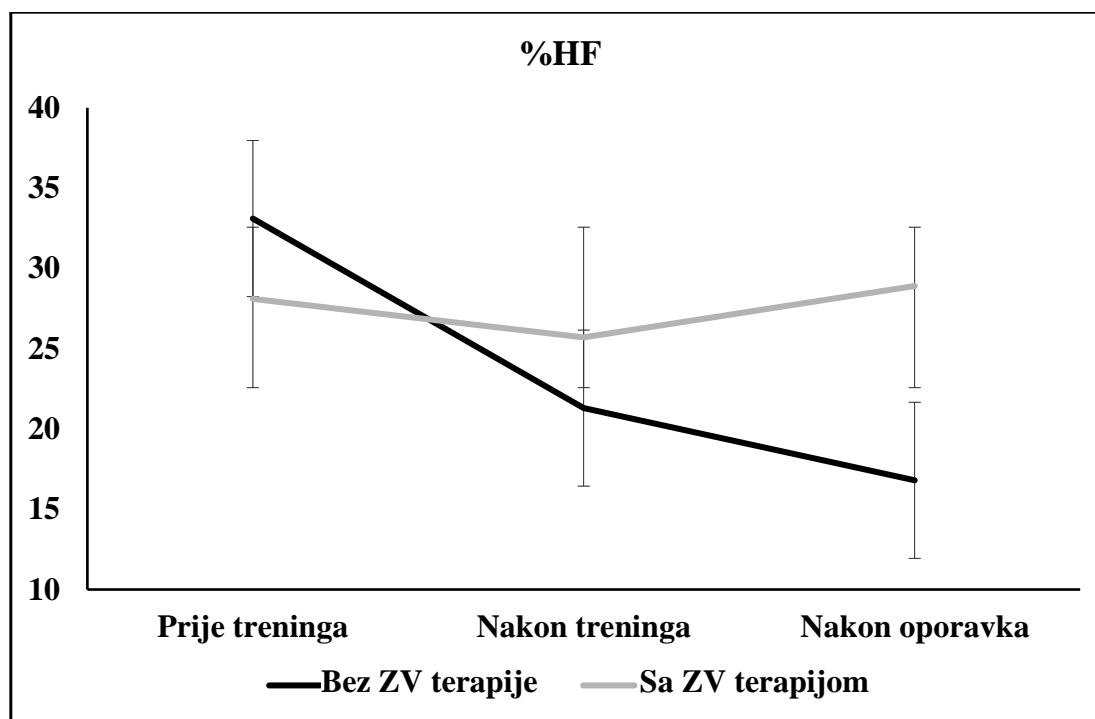
(SD =13.7); razlika aritmetičkih sredina = -12.04; 95% CI = -18.63 do -5.46; $p < 0.001$]. Nije došlo do značajnih razlika bez primjene i s primjenom ZV terapije prije i nakon treninga ($p > 0.05$).

Tablica 16. Vrijednosti i razlike %HF prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme $F(p - \text{vrijednost}; \text{eta})$	Intervencija $F(p - \text{vrijednost}; \text{eta})$	Vrijeme*intervencija $F(p - \text{vrijednost}; \text{eta})$
Bez ZV terapije				
Prije treninga	33.1 (17.3)	4.881 (0.010; 0.065)	2.776 (0.098; 0.020)	4.743 (0.010; 0.064)
Nakon treninga	21.3 (13.5)			
Nakon oporavka	16.8 (8.2)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	28.1 (9.7)			
Nakon treninga	25.7 (16.8)			
Nakon oporavka	28.9 (13.7)			

$P < 0.05$

Prikaz 16. Vrijednosti %HF prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



LF/HF ratio - omjer niske i visoke frekvencije

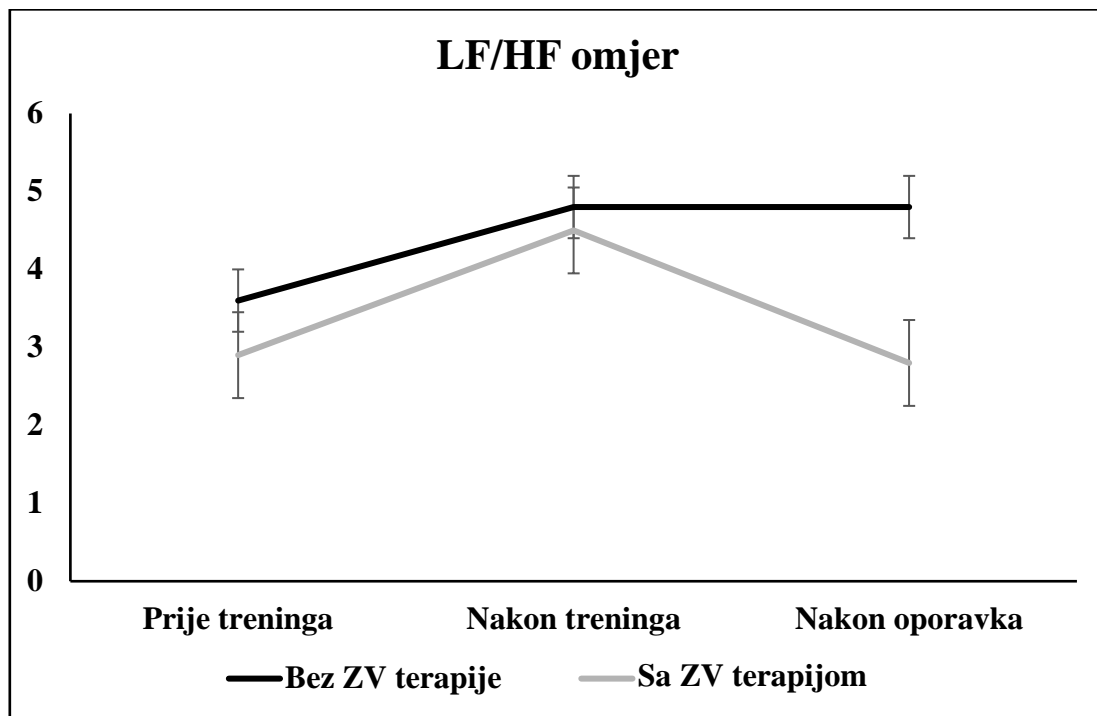
Omjer niske i visoke frekvencije je sljedeća testirana varijabla (tablica 17 i prikaz 17). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.509$; $p = 0.191$). Iz tablice 22 je vidljivo, kako se vrijednosti omjera niske i visoke frekvencije povećavaju nakon treninga i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se smanjuju nakon oporavka uz primjenu ZV terapije. Glavni učinci vremena (prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka), intervencije (bez primjene i s primjenom ZV terapije), te njihova međusobna interakcija su pokazali, kako ne postoje značajne razlike među njima, što bi značilo kako vrijednosti omjera niske i visoke frekvencije s obzirom na vrijeme primjene, intervenciju, te njihovu interakciju nisu značajno različiti i ne ovise o vremenu i tipu intervencije.

Tablica 17. Vrijednosti i razlike LF/HF omjera prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme $F(p - \text{vrijednost}; \text{eta})$	Intervencija $F(p - \text{vrijednost}; \text{eta})$	Vrijeme*intervencija $F(p - \text{vrijednost}; \text{eta})$
Bez ZV terapije				
Prije treninga	3.6 (6.6)			
Nakon treninga	4.8 (5.3)			
Nakon oporavka	4.8 (2.8)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	2.9 (3.2)			
Nakon treninga	4.5 (5.2)			
Nakon oporavka	2.8 (2.0)			
		1.180 (0.310; 0.017)	1.766 (0.186; 0.013)	0.486 (0.616; 0.007)

P<0.05

Prikaz 17. Vrijednosti LF/HF omjera prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Rezultati mjerenja kontekstualnih varijabli

BVP - puls krvnog tlaka

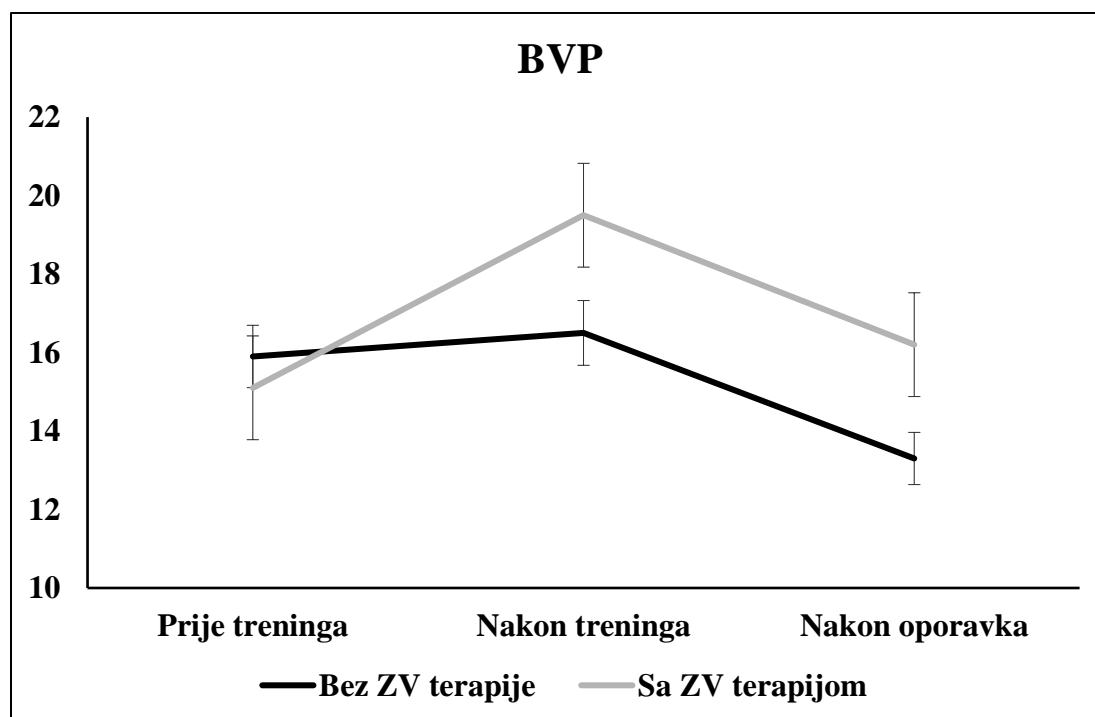
Uz srčanu frekvenciju, puls krvnog tlaka (*Blood volume pulse* - BVP) je bio također testiran kroz sva tri mjerenja bez i s primjenom ZV terapije (prikaz 18). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.542$; $p = 0.744$). Iz tablice 18 je vidljivo, kako se vrijednosti pulsa krvnog tlaka povećavaju nakon treninga, te opadaju nakon oporavka bez primjene i s primjenom ZV terapije. Glavni učinci vremena (prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka), intervencije (bez primjene i s primjenom ZV terapije), te njihova međusobna interakcija su pokazali kako ne postoje značajne razlike među njima i njihovim interakcijama, što bi značilo kako vrijednosti pulsa krvnog tlaka s obzirom na vrijeme primjene, intervenciju, te njihovu interakciju nisu značajno različite.

Tablica 18. Vrijednosti i razlike pulsa krvnog tlaka prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	15.9 (7.6)			
Nakon treninga	16.5 (9.3)			
Nakon oporavka	13.3 (6.8)			
Sa ZV terapijom		2.205 (0.114; 0.031)	1.558 (0.214; 0.011)	0.890 (0.413; 0.013)
Prije treninga	15.1 (7.3)			
Nakon treninga	19.5 (8.8)			
Nakon oporavka	16.2 (7.3)			

P<0.05

Prikaz 18. Vrijednosti pulsa krvnog tlaka prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Frekvencija disanja

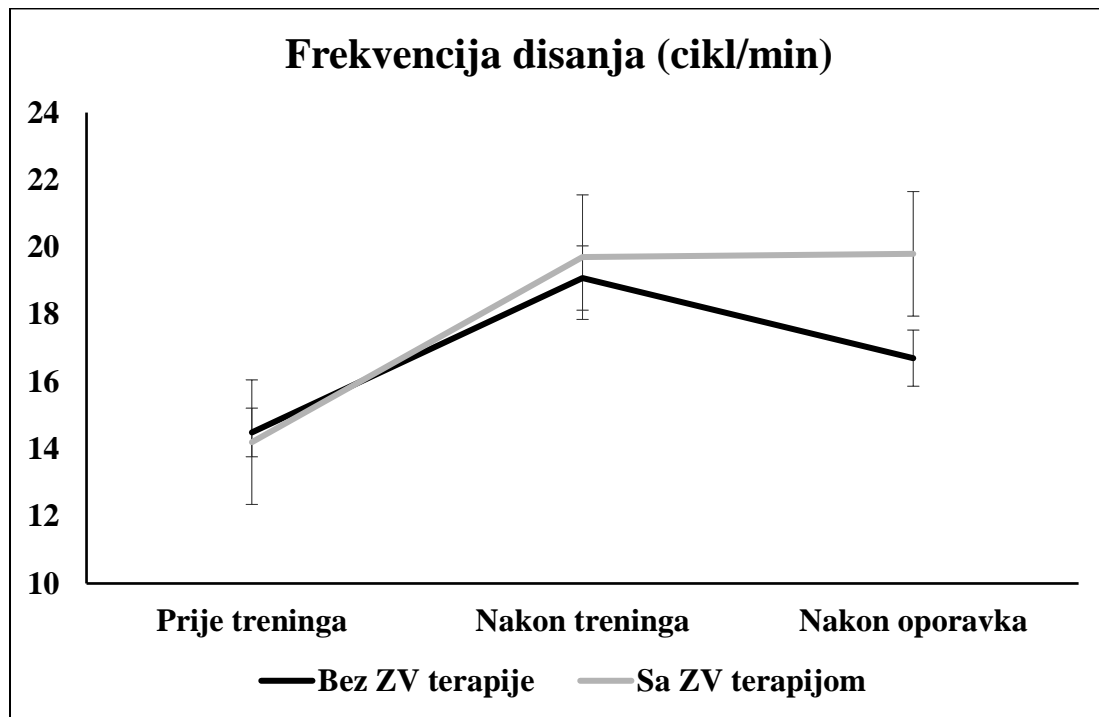
Sljedeća varijabla koja je testirana kroz sva tri mjerenja bez i s primjenom ZV terapije je frekvencija disanja (tablica 19 i prikaz 19). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.652$; $p = 0.661$). Iz tablice 6 je vidljivo, kako se vrijednosti frekvencije disanja povećavaju nakon treninga, te se snižavaju nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok ostaju približno isti nakon treninga i nakon oporavka s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike frekvencije disanja prije [AS = 14.34 cikl/min (SD = 4.60)] i nakon treninga [AS = 19.38 cikl/min (SD = 5.72); razlika aritmetičkih sredina = -5.03; 95% CI = -7.64 do -2.42; $p < 0.001$], te prije treninga [AS = 14.34 cikl/min (SD = 4.60)] i nakon oporavka [AS = 18.26 cikl/min (SD = 4.55); (razlika aritmetičkih sredina = -3.91; 95% CI = -6.52 do -1.31; $p = 0.003$), dok nisu dobivene značajne razlike u vrijednostima frekvencije disanja nakon treninga [AS = 19.38 cikl/min (SD = 5.72)] i nakon oporavka [AS = 18.26 cikl/min (SD = 4.55); razlika aritmetičkih sredina = 1.12; 95% CI = -1.49 do 3.73; $p = 0.397$].

Tablica 19. Vrijednosti i razlike frekvencije disanja prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	14.5 (4.8)			
Nakon treninga	19.1 (5.3)			
Nakon oporavka	16.7 (4.6)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	14.2 (4.5)			
Nakon treninga	19.7 (4.5)			
Nakon oporavka	19.8 (11.7)			
		8.050 (< 0.001; 0.104)	1.101 (0.296; 0.008)	0.883 (0.416; 0.013)

P<0.05

Prikaz 19. Vrijednosti frekvencije disanja prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Amplituda disanja

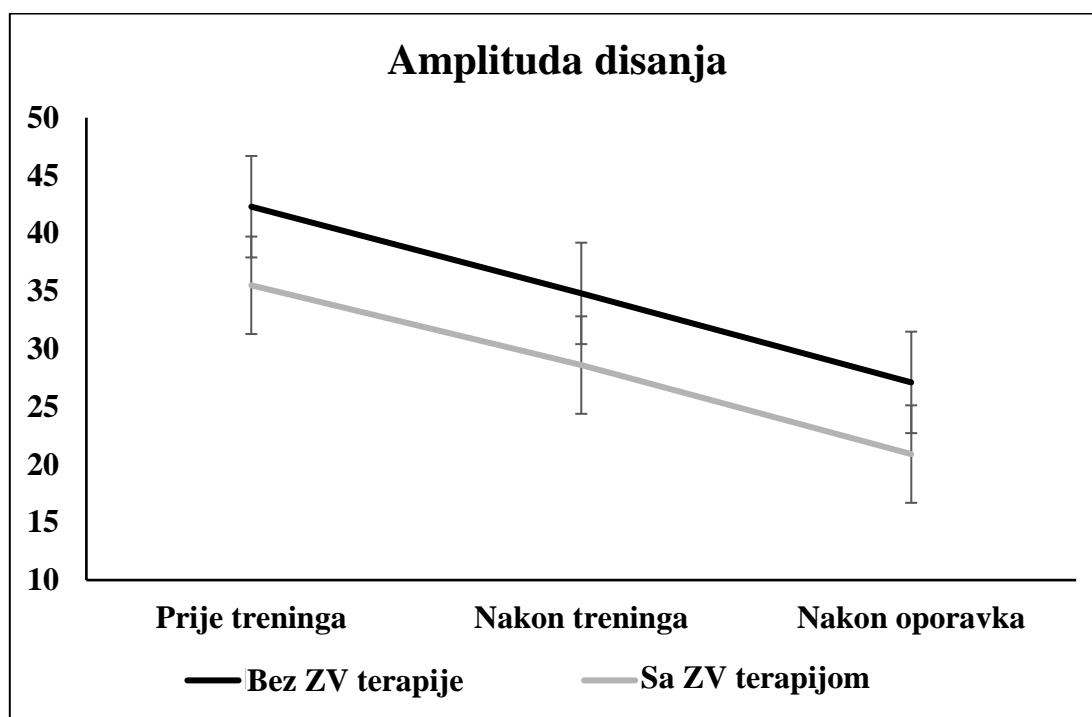
Uz frekvenciju disanja, amplituda disanja je sljedeća varijabla testirana u sklopu bez primjene i s primjenom ZV terapije (tablica 20 i prikaz 20). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 2.784$; $p = 0.102$). Iz tablice 7 je vidljivo, kako se vrijednosti amplitude disanja linearno smanjuju nakon treninga i nakon oporavka bez primjene i s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike amplitude disanja prije treninga [AS = 38.88 (SD = 32.55)] i nakon oporavka [AS = 24.00 (SD = 20.25); razlika aritmetičkih sredina = 14.88; 95% CI = 3.39 do 26.37; $p = 0.012$] dok nisu dobivene značajne razlike u vrijednostima amplitude disanja prije [AS = 38.88 (SD = 32.55)] i nakon treninga [AS = 31.70 (SD = 28.35); (razlika aritmetičkih sredina = 7.18; 95% CI = -4.31 do 18.68; $p = 0.219$), te nakon treninga [AS = 31.70 (SD = 28.35)] i nakon oporavka [AS = 24.00 (SD = 20.25); razlika aritmetičkih sredina = 7.70; 95% CI = -3.80 do 19.19; $p = 0.188$].

Tablica 20. Vrijednosti i razlike amplitude disanja prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	42.3 (34.1)			
Nakon treninga	34.8 (30.9)			
Nakon oporavka	27.1 (25.2)			
Sa ZV terapijom		3.279 (0.041; 0.045)	1.838 (0.177; 0.013)	0.002 (0.998; 0.000)
Prije treninga	35.5 (34.1)			
Nakon treninga	28.6 (25.0)			
Nakon oporavka	20.9 (18.0)			

P<0.05

Prikaz 20. Vrijednosti amplitude disanja prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Srčana frekvencija

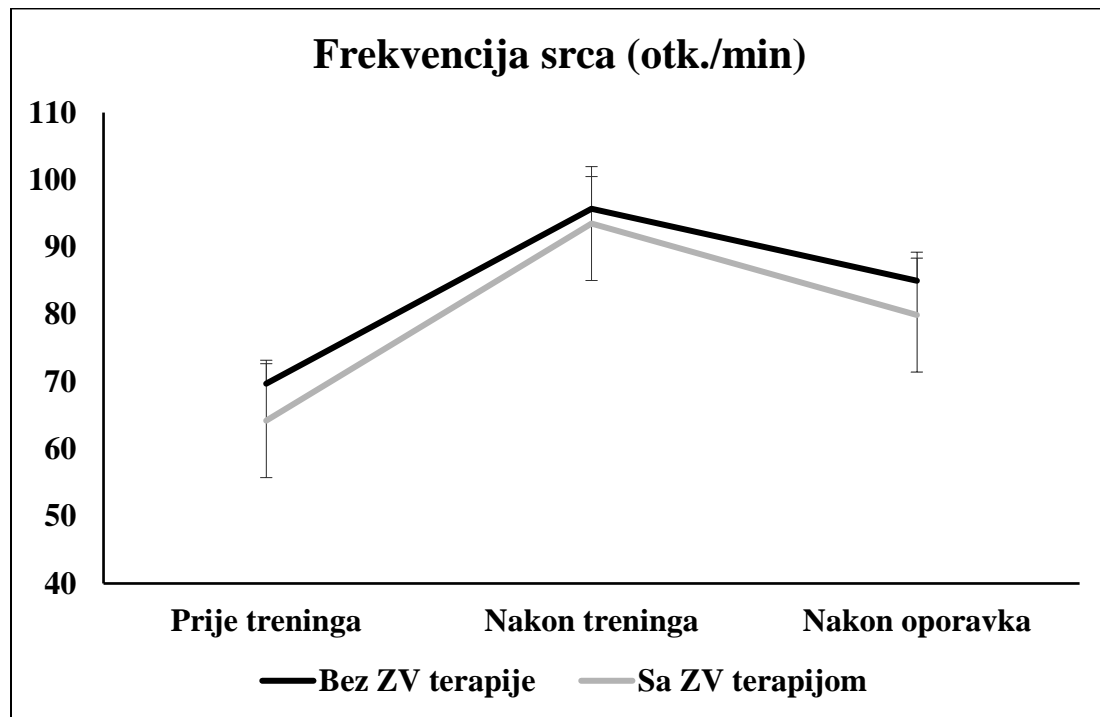
Srčana frekvencija testirana kroz sva tri mjerenja bez i s primjenom ZV terapije predstavlja sljedeću testiranu varijablu (tablica 21 i prikaz 21). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.441$; $p = 0.820$). Iz tablice 4 je vidljivo, kako se vrijednosti srčane frekvencije povećavaju nakon treninga, te se snižavaju nakon oporavka. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike srčane frekvencije prije [AS = 66.90 otk./min (SD = 8.90)] i nakon treninga [AS = 94.62 otk./min (SD = 10.74); razlika aritmetičkih sredina = -27.70; 95% CI = -32.70 do -22.70; $p < 0.001$], prije treninga [AS = 66.90 otk./min (SD = 8.90)] i nakon oporavka [AS = 82.42 otk./min (SD = 9.72); razlika aritmetičkih sredina = -15.50; 95% CI = -20.50 do -10.50; $p < 0.001$], te nakon treninga [AS = 94.62 otk./min (SD = 10.74)] i nakon oporavka [AS = 82.42 otk./min (SD = 9.72); razlika aritmetičkih sredina = 12.20; 95% CI = -7.20 do 17.20; $p < 0.001$]. Iz tablice 4 je također vidljivo, kako su glavni učinci intervencije statistički značajni. Naime, vrijednosti aritmetičkih sredina srčane frekvencije bez primjene ZV terapije značajno su viši od vrijednosti srčane frekvencije uz primjenu ZV terapije, neovisno o vremenu primjene [BEZ AS = 83.40 otk./min (SD = 14.9) nasuprot SA AS = 79.2 otk./min (SD = 15.3); razlika aritmetičkih sredina = 4.30; 95% CI = 0.70 do 9.30; t – vrijednost = 2.694; $p = 0.042$]. Interakcija vremena i intervencije nije polučila značajne glavne učinke.

Tablica 21. Vrijednosti i razlike srčane frekvencije prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme F (p – vrijednost; η^2)	Intervencija F (p – vrijednost; η^2)	Vrijeme*intervencija F (p – vrijednost; η^2)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	69.7 (10.8)			
Nakon treninga	95.7 (9.8)			
Nakon oporavka	85.0 (10.8)			
Sa ZV terapijom		91.866 (< 0.001; 0.571)	6.521 (0.012; 0.045)	0.396 (0.674; 0.006)
Prije treninga	64.2 (7.3)			
Nakon treninga	93.5 (10.6)			
Nakon oporavka	79.9 (10.5)			

P<0.05

Prikaz 21. Vrijednosti srčane frekvencije prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Rezultati dodatnih mjerenja stanja AŽS-a

Električna provodljivost kože

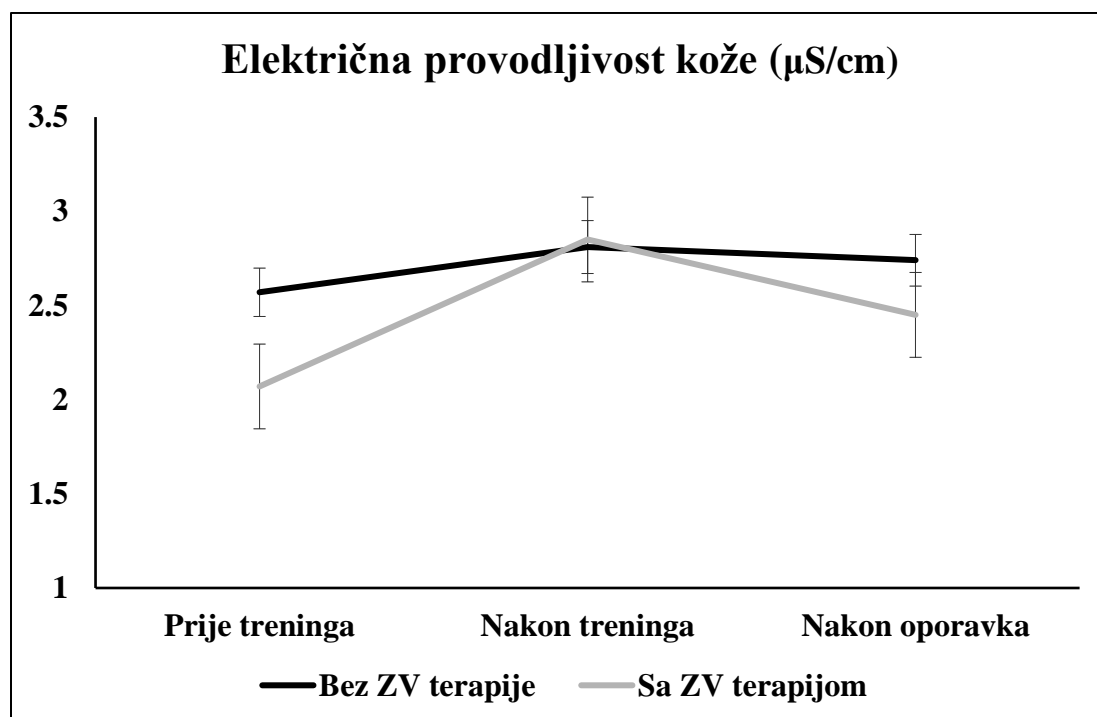
Prva varijabla testirana kroz sva tri mjerenja bez i s primjenom ZV terapije je električna provodljivost kože (*Skin conductance* – SC) (tablica 22 i prikaz 22). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.143$; $p = 0.982$). Iz tablice 1 je vidljivo, kako se vrijednosti provodljivosti kože povećavaju nakon treninga, te se snižavaju u grupi bez primjene ZV terapije, dok se isti trend javlja kod primjene ZV terapije nakon treninga, ali vrijednosti ostaju iste nakon oporavka. Glavni učinci vremena (prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka), intervencije (bez primjene i s primjenom ZV terapije), te njihova međusobna interakcija su pokazali, kako ne postoje značajne razlike među njima, što bi značilo kako vrijednosti el. provodljivosti kože s obzirom na vrijeme primjene, intervenciju, te njihovu interakciju nisu međusobno značajni.

Tablica 22. Vrijednosti i razlike el. provodljivosti kože prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	2.57 (1.91)			
Nakon treninga	2.81 (1.35)			
Nakon oporavka	2.74 (1.46)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	2.07 (1.91)	0.584 (0.599; 0.008)	0.442 (0.507; 0.003)	0.168 (0.845; 0.002)
Nakon treninga	2.85 (1.29)			
Nakon oporavka	2.45 (1.34)			

P<0.05

Prikaz 22. Vrijednosti el. provodljivosti kože prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Temperatura na površini kože

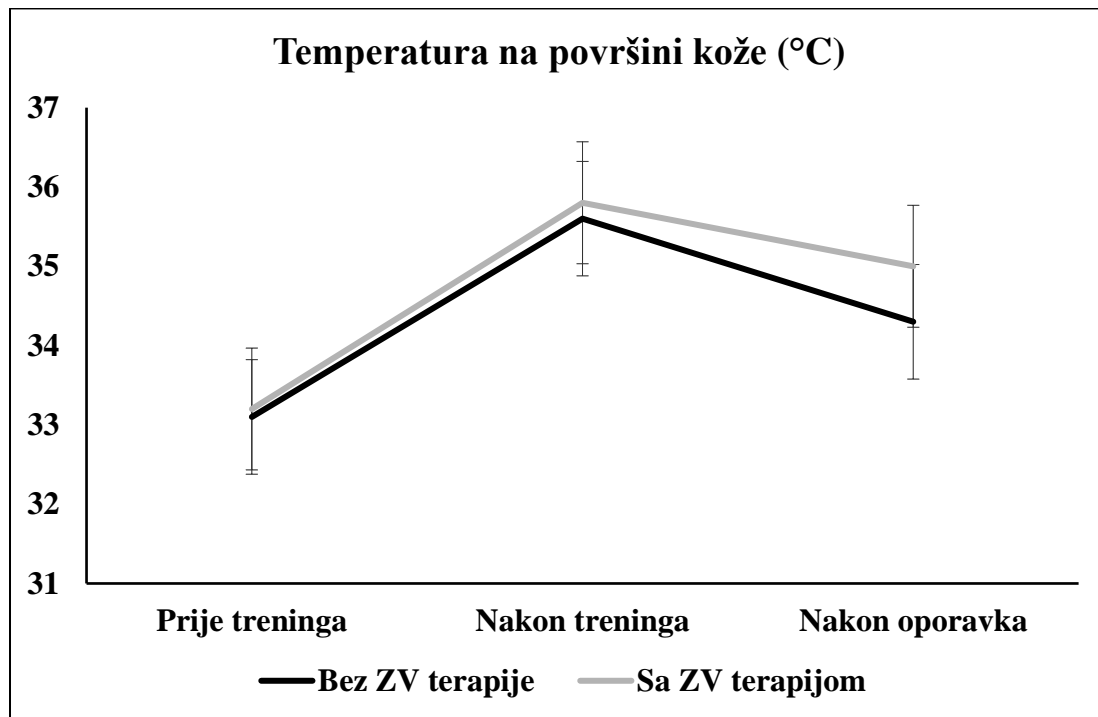
Temperatura na površini kože (*Skin temperature* – ST) bila je druga testirana varijabla kroz sva tri mjerenja bez i s primjenom ZV terapije (tablica 23 i prikaz 23). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.152$; $p = 0.698$). Iz tablice 2 je vidljivo, kako se vrijednosti temperature na površini kože povećavaju nakon treninga, te se snižavaju nakon oporavka. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike temperature na površini kože prije [AS = 33.20 °C (SD = 3.20)] i nakon treninga [AS = 35.70 °C (SD = 3.43); razlika aritmetičkih sredina = -2.52; 95% CI = -3.91 do -1.12; $p < 0.001$], te prije treninga [AS = 33.20 °C (SD = 3.20)] i nakon oporavka [AS = 34.60 °C (SD = 2.90); razlika aritmetičkih sredina = -1.47; 95% CI = -2.87 do -0.08; $p = 0.035$], dok nisu dobivene značajne razlike u vrijednostima temperature na površini kože nakon treninga [AS = 35.70 °C (SD = 3.43)] i nakon oporavka [AS = 34.60 °C (SD = 2.90); razlika aritmetičkih sredina = -1.05; 95% CI = -2.45 do 0.35; $p = 0.212$].

Tablica 23. Vrijednosti i razlike temperature na površini kože prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	33.1 (4.4)			
Nakon treninga	35.6 (0.7)			
Nakon oporavka	34.3 (2.8)			
Sa ZV terapijom		9.669 (<0.001; 0.123)	0.536 (0.464; 0.004)	0.181 (0.835; 0.003)
Prije treninga	33.2 (4.3)			
Nakon treninga	35.8 (1.1)			
Nakon oporavka	35.0 (2.8)			

P<0.05

Prikaz 23. Vrijednosti temperature na površini kože prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Koherencija srčanog i respiratornog ritma

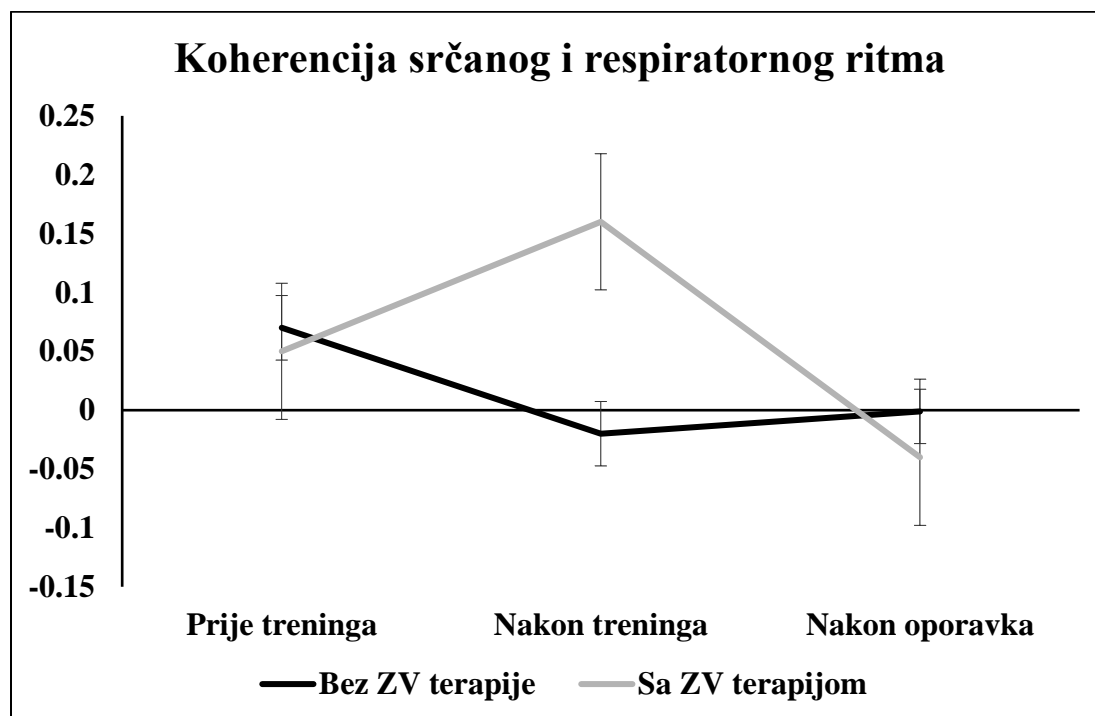
Sljedeća varijabla testirana za potrebe istraživanja je koherencija srčanog i respiratornog ritma (tablica 24 i prikaz 24). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.921$; $p = 0.095$). Iz tablice 9 je vidljivo, kako se vrijednosti koherencije srčanog i respiratornog ritma linearno smanjuju nakon treninga i nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok se povećavaju nakon treninga i smanjuju nakon oporavka uz primjenu ZV terapije. Glavni učinci vremena (prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka), intervencije (bez primjene i s primjenom ZV terapije), te njihova međusobna interakcija su pokazali kako ne postoje značajne razlike među njima, što bi značilo kako vrijednosti koherencije srčanog i respiratornog ritma s obzirom na vrijeme primjene, intervenciju, te njihovu interakciju nisu značajno različite i ne ovise o vremenu i tipu intervencije.

Tablica 24. Vrijednosti i razlike koherencije srčanog i respiratornog ritma prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	0.07 (0.26)			
Nakon treninga	-0.02 (0.13)			
Nakon oporavka	-0.001 (0.18)			
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	0.05 (0.27)	0.571 (0.566; 0.008)	0.240 (0.625; 0.002)	0.767 (0.466; 0.011)
Nakon treninga	0.16 (1.02)			
Nakon oporavka	-0.04 (0.18)			

P<0.05

Prikaz 24. Vrijednosti koherencije srčanog i respiratornog ritma prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Rezultati mjerenja kvalitativnih varijabli

Varijable mjerene SEES skalom

Kvalitativne varijable predstavljaju vrijednosti dobivene SEES skalom iz 3 procjenjivana područja: Obradom su kvantificirane i predstavljene u rezultatima.

1. Osjećaj pozitivne dobrobiti
2. Psihološki distres
3. Umor

Osjećaj pozitivne dobrobiti

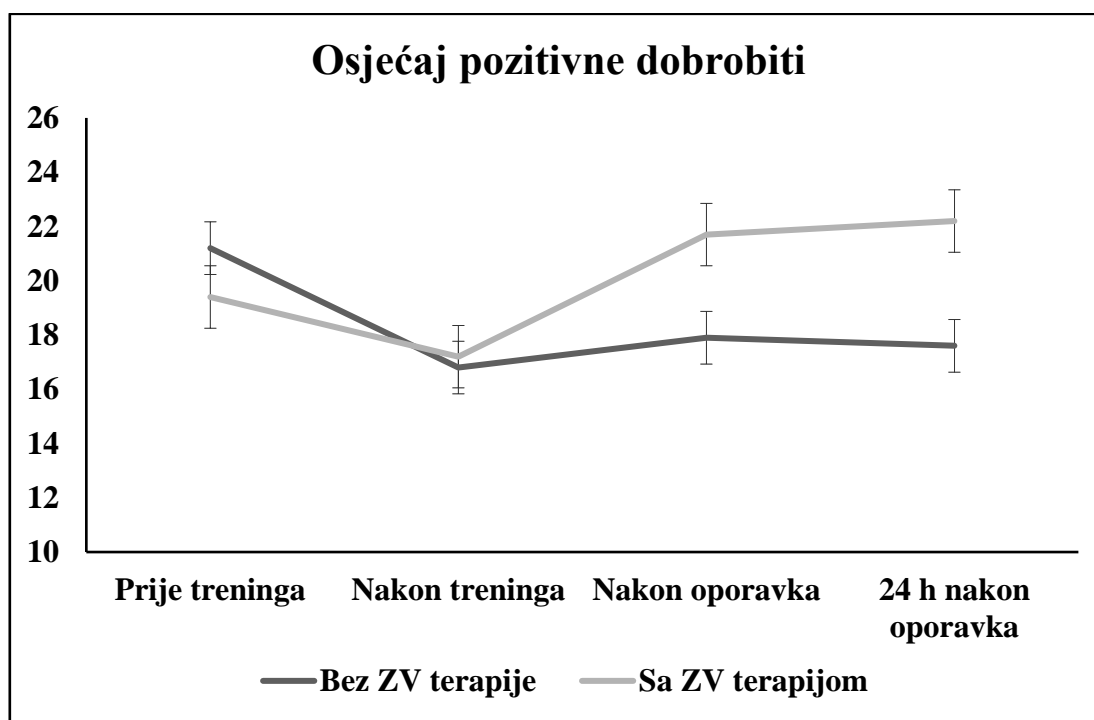
Sljedeća varijabla testirana je u sklopu SEES ankete, te se prvi analizirani faktor naziva pozitivno opće stanje organizma (tablica 25 i prikaz 25). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 0.409$; $p = 0.896$). Iz tablice 25 je vidljivo, kako se vrijednosti pozitivnog općeg stanja smanjuju nakon treninga, te se povećavaju nakon oporavka i 24 h nakon oporavka bez primjene i s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike pozitivnog općeg stanja prije treninga [AS = 20.30 (SD = 4.10)] i nakon treninga [AS = 17.00 (SD = 3.90); razlika aritmetičkih sredina = 3.29; 95% CI = 0.90 do 5.68; $p = 0.002$], nakon treninga [AS = 17.00 (SD = 3.90)] i nakon oporavka [AS = 19.80 (SD = 4.50); razlika aritmetičkih sredina = -2.792; 95% CI = -5.18 do -0.40; $p = 0.013$], te nakon treninga [AS = 17.00 (SD = 3.90)] i 24 h nakon oporavka [AS = 19.90 (SD = 5.00); razlika aritmetičkih sredina = -2.92; 95% CI = -5.31 do -0.53; $p = 0.008$). Također je analiza pokazala značajne glavne učinke kod intervencije. Pokazano je, kako su vrijednosti aritmetičke sredine pozitivnog općeg stanja značajno manji bez primjene ZV terapije, u odnosu na primjenu ZV terapije [BEZ AS = 18.4 (SD = 4.5) nasuprot SA AS = 20.1 (SD = 4.9); razlika aritmetičkih sredina = -1.71; 95% CI = -3.05 do -0.37; $p = 0.013$]. Na kraju, **analiza je pokazala značajne glavne učinke u interakciji vremena i intervencije**, što bi značilo kako su vrijednosti pozitivnog općeg stanja značajno manje neposredno nakon oporavka i 24 h nakon oporavka bez primjene ZV terapije, u odnosu na primjenu ZV terapije gdje su vrijednosti pozitivnog općeg stanja nakon oporavka i nakon 24 h značajno veće. Što govori o njenoj učinkovitosti na pozitivno opće stanje organizma.

Tablica 25. Vrijednosti i razlike pozitivnog općeg stanja prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	21.2 (3.4)			
Nakon treninga	16.8 (4.8)			
Nakon oporavka	17.9 (4.1)			
24 h nakon oporavka	17.6 (4.5)	5.718 (< 0.001; 0.085)	7.271 (0.008; 0.038)	5.578 (< 0.001; 0.083)
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	19.4 (5.0)			
Nakon treninga	17.2 (4.5)			
Nakon oporavka	21.7 (4.2)			
24 h nakon oporavka	22.2 (4.5)			

P<0.05

Prikaz 25. Vrijednosti pozitivnog općeg stanja prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Psihološki distres

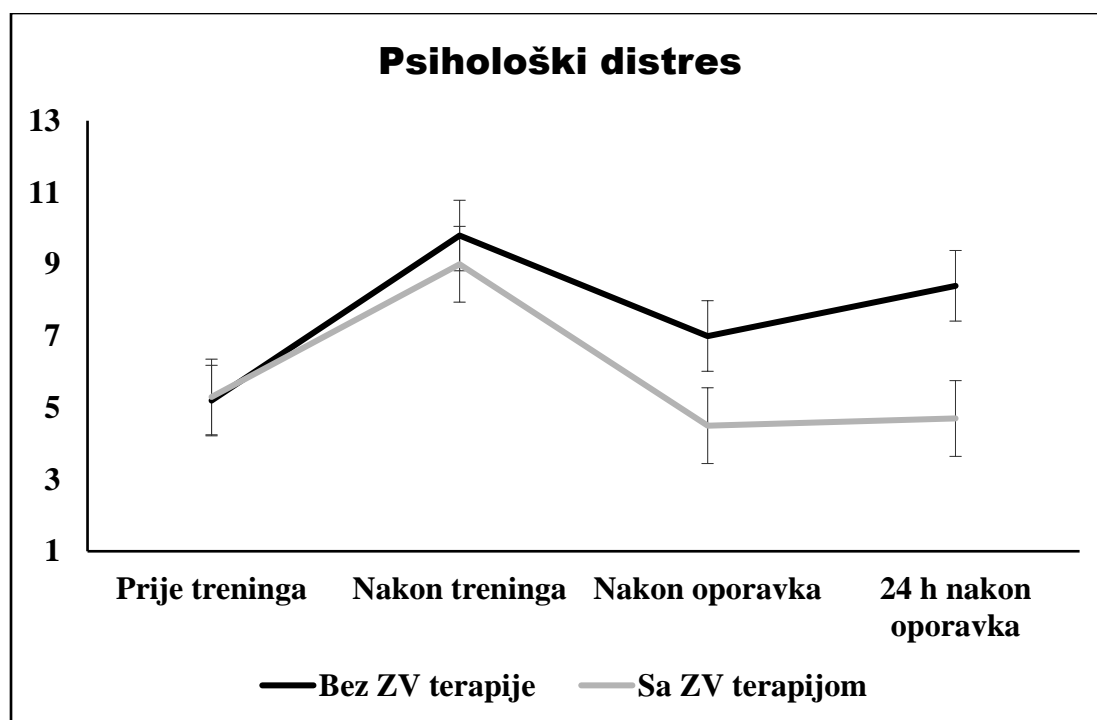
Sljedeća varijabla također je dio SEES ankete, i naziva se psihološki distres (tablica 26 i prikaz 26). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.836$; $p = 0.196$). Iz tablice 26 je vidljivo, kako se vrijednosti psihološkog distresa povećavaju nakon treninga, te se smanjuju nakon oporavka i ponovno povećavaju 24 h nakon oporavka bez primjene ZV terapije, dok padaju nakon oporavka i 24 h nakon oporavka uz primjenu ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike psihološkog distresa prije treninga [AS = 5.25 (SD = 2.38)] i nakon treninga [AS = 9.40 (SD = 4.73); razlika aritmetičkih sredina = -4.19; 95% CI = -6.23 do -2.15; $p < 0.001$], nakon treninga [AS = 9.40 (SD = 4.73)] i nakon oporavka [AS = 5.69 (SD = 3.11); razlika aritmetičkih sredina = 3.71; 95% CI = 1.67 do 5.75; $p < 0.001$], te nakon treninga [AS = 9.40 (SD = 4.73)] i 24 h nakon oporavka [AS = 6.55 (SD = 2.99); razlika aritmetičkih sredina = 2.85; 95% CI = 0.82 do 4.89; $p = 0.002$]. Također je analiza pokazala značajne glavne učinke kod intervencije. Pokazano je, kako su vrijednosti aritmetičke sredine psihološkog distresa značajno veće bez primjene ZV terapije, u odnosu na primjenu ZV terapije [BEZ AS = 7.6 (SD = 4.8) nasuprot SA AS = 5.9 (SD = 3.2); razlika aritmetičkih sredina = 1.73; 95% CI = 0.56 do 2.90; $p = 0.004$]. Na kraju, **analiza je pokazala značajne glavne učinke u interakciji vremena i intervencije**, što bi značilo kako su vrijednosti psihološkog distresa značajno veće neposredno nakon oporavka i 24 h nakon oporavka bez primjene ZV terapije, s obzirom na primjenu ZV terapije. Ovakav rezultat govori o učinkovitosti ZVT na smanjenje psihološkog distresa.

Tablica 26. Vrijednosti i razlike psihološkog distresa prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; <i>eta</i>)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	5.2 (2.8)			
Nakon treninga	9.8 (5.4)			
Nakon oporavka	7.0 (3.7)			
24 h nakon oporavka	8.4 (5.7)	12.033 (< 0.001; 0.164)	10.238 (0.002; 0.053)	2.497 (0.050; 0.039)
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	5.3 (2.4)			
Nakon treninga	9.0 (4.5)			
Nakon oporavka	4.5 (0.7)			
24 h nakon oporavka	4.7 (1.6)			

P < 0.05

Prikaz 26. Vrijednosti psihološkog distresa prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Umor

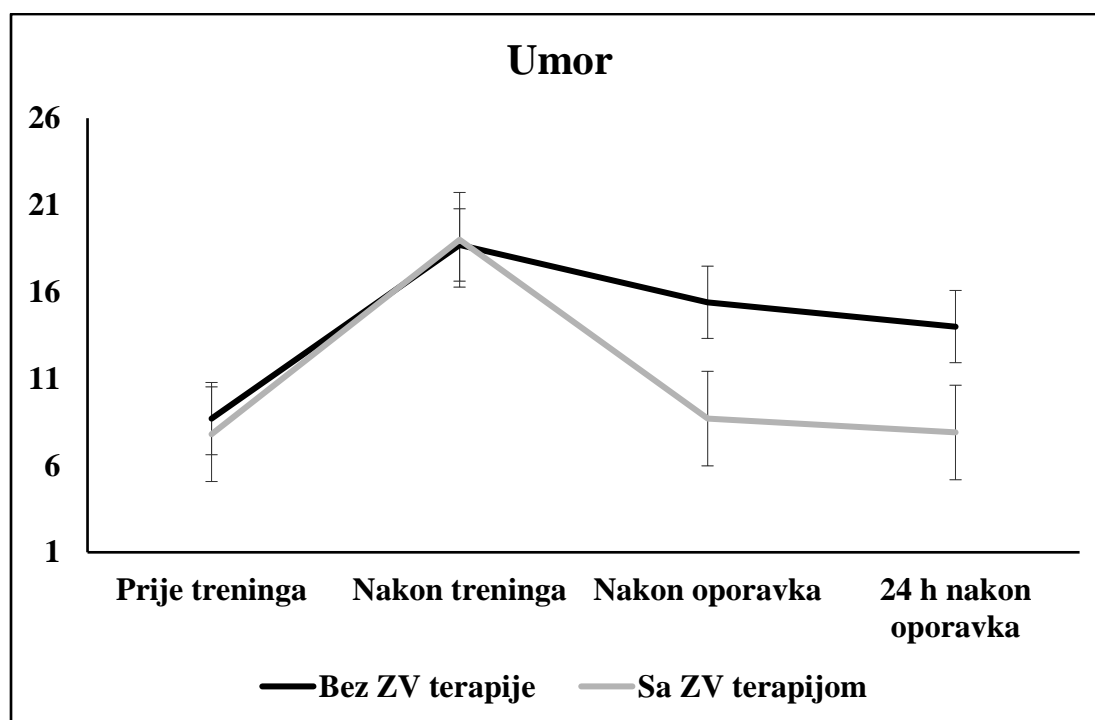
Zadnja varijabla testirana u sklopu SEES ankete je definirana kao **umor** (tablica 27 i prikaz 27). Levenov test homogenosti varijanci je pokazao, kako ne postoje značajne razlike varijanci aritmetičkih sredina ($F = 1.520$; $p = 0.296$). Iz tablice 27 je vidljivo, kako se vrijednosti umora povećavaju nakon treninga, te se smanjuju nakon oporavka i 24 h nakon oporavka bez primjene i s primjenom ZV terapije. Značajni glavni učinci dobiveni su u varijabli vrijeme, gdje su *post hoc* analizom uz Tukeyjevu korekciju utvrđene značajne razlike umora prije treninga [AS = 8.20 (SD = 3.48)] i nakon treninga [AS = 18.85 (SD = 6.38)]; razlika aritmetičkih sredina = -10.67; 95% CI = -13.10 do -8.23; $p < 0.001$], prije treninga [AS = 8.20 (SD = 3.48)] i nakon oporavka [AS = 12.05 (SD = 5.55)]; razlika aritmetičkih sredina = -3.81; 95% CI = -6.25 do -1.38; $p < 0.001$], prije treninga [AS = 8.20 (SD = 3.48)] i 24 h nakon oporavka [AS = 10.95 (SD = 3.99)]; razlika aritmetičkih sredina = -2.75; 95% CI = -5.19 do -0.31; $p = 0.018$], nakon treninga [AS = 18.85 (SD = 6.38)] i nakon oporavka [AS = 12.05 (SD = 5.55)]; razlika aritmetičkih sredina = 6.85; 95% CI = 4.42 do 9.29; $p < 0.001$], te nakon treninga [AS = 18.85 (SD = 6.38)] i 24 h nakon oporavka [AS = 10.95 (SD = 3.99)]; razlika aritmetičkih sredina = 7.92; 95% CI = 5.48 do 10.35; $p < 0.001$). Također je analiza pokazala značajne glavne učinke kod intervencije. Pokazano je, kako su vrijednosti umora značajno veći bez primjene ZV terapije, s obzirom na primjenu ZV terapije [BEZ = 14.2 (6.1) nasuprot SA = 10.8 (6.1)]; razlika aritmetičkih sredina = 3.34; 95% CI = 1.60 do 5.09; $p < 0.001$]. Na kraju, **analiza je pokazala značajne glavne učinke u interakciji vremena i intervencije**, što bi značilo kako su vrijednosti umora značajno veće nakon oporavka i 24 h nakon oporavka bez primjene ZV terapije, s obzirom na primjenu ZV terapije.

Tablica 27. Vrijednosti i razlike umora prije treninga, nakon treninga i nakon oporavka bez i s primjenom ZV terapije (N = 24)

Varijabla	AS (SD)	Vrijeme <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)	Vrijeme*intervencija <i>F</i> (<i>p</i> – vrijednost; eta)
Bez ZV terapije				
Prije treninga	8.7 (3.7)			
Nakon treninga	18.7 (5.1)			
Nakon oporavka	15.4 (4.9)			
24 h nakon oporavka	14.0 (5.9)	49.217 (< 0.001; 0.445)	26.771 (< 0.001; 0.127)	7.630 (< 0.001; 0.111)
Sa ZV terapijom				
Prije treninga	7.8 (3.0)			
Nakon treninga	19.0 (5.4)			
Nakon oporavka	8.7 (3.2)			
24 h nakon oporavka	7.9 (3.7)			

P < 0.05

Prikaz 27. Vrijednosti umora prije i nakon treninga, te nakon oporavka bez korištenja i s korištenjem ZV terapije (N = 24)



Varijable dobivene Upitnikom subjektivnog dojma

Kvalitativni podaci iz Upitnika subjektivnog dojma prikupljeni su kroz vlastite subjektivne opise doživljenog iskustva ispitanika.

Opis subjektivnog dojma

Opis subjektivnog dojma Ispitanika bio je još jedan korišteni kvalitativni element u cilju dubljeg utvrđivanja osobne dojmove ispitanika. Iako usmjeravani upitnikom, Ispitanici su imali slobodu opisati i zabilježiti najupečatljivija zapažanja na vlastiti način. Zbog nemogućnosti kvantificiranja ovakvog oblika mjerenja, rezultati ovog dijela istraživanja prezentirani su, kao i njegovi ulazni parametri, opisno. Subjektivni opisi stanja prije početka oba protokola kretali su se između „jako dobro/spremno“ do „lagano umorno/malo nenaspravno ali spremno“. Nakon obavljenog treninga Ispitanici su bili u najvećem broju slučajeva ozbiljno iscrpljeni, malaksali, blijedi, često uz prisutnu vrtoglavicu i mučninu. Treba napomenuti kako su mjereni dobrovoljci na kraju treninga katkad bili čak u težem stanju nego što su htjeli priznati. U svakom slučaju, subjektivni dojam nakon treninga u oba protokola bio je jednak, što je sukladno i kvantitativnim pokazateljima. Razlike dojmova između dva protokola pojavljuju se tijekom i nakon oporavka. Za vrijeme trajanja i na kraju oporavka bez ZVT, Ispitanici su prijavili bolje stanje nego nakon treninga ali u visokom postotku i dalje prisutan umor, znojenje, u nekoliko slučajeva mučninu, žeđ i želju za nastavkom odmora nakon povratka kući. Tijekom i nakon oporavka uz upotrebu ZVT dojmovi su bili u 100 % slučajeva drugačiji. Bez iznimke potvrdili su izrazito značajniji oporavak, ugodnije psihičko stanje, izostanak žeđi i/ili gladi, bistrinu „u glavi“, iznenađujuće duboku opuštenost, spokoj i bezbrižnost. Uspoređujući osjećaje pozitivnog/uznemirenosti/umora nakon ZVT, stanje je također bilo vidno bolje. Iako se većina Ispitanika i bez intervencije osjećala pozitivno ili pozitivnije nego nakon treninga, uz intervenciju je taj osjećaj značajno izraženiji, umor manji a uznemirenosti nema. Na pitanje „Jeste li u stanju ponoviti isti trening odmah?“, razlika je također bila u 100% slučajeva. U protokolu bez intervencije niti jedan ispitanik nije izrazio volju/želju/mogućnost ponoviti isti trening. Dapače, kod većine Ispitanika samo razmišljanje o tome izazivalo je nelagodu. Uz intervenciju svi ispitanici su prijavili kako bi mogli odmah ponoviti isti trening, iako svjesni da je to samo trenutni osjećaj. Ovo je bio zaista iznenađujući rezultat. Na pitanje opisa cjelokupnog dojma, svi Ispitanici su izrazili pozitivan dojam na nivou pozitivne iznenađenosti do oduševljenja. Neki od komentara bili su „jako pozitivno“, „prožimajuće“, „nadrealno“, „okrepljujuće“, „krasnost“, „uvest ću ovo kao dio trenažnog procesa“, „ocjena 10/10“. Upitnik o usporedbi dojmova nakon obavljena oba protokola

pokazao je također značajnu razliku u oporavku sa ZVT. Značajan pad umora te primjetno brži ulazak u stanje opuštenosti. Disanje i znojenje nešto više reducirani u protokolu sa ZVT ali osjećaj opuštanja i odmora nadmašili su očekivanja. Psihičko stanje znatno bolje, opuštenost dublja, uz intervenciju nestala je i uznemirenost. Nivo bolnosti mišića uz upotrebu ZVT bio je izrazito smanjen, a u većini slučajeva potpuno uklonjen. Čak i neugoda nastala uslijed dugotrajnijeg nepomičnog ležanja, uz intervenciju ZVT nije bila prisutna. Na pitanje o usporedbi protokola oporavka sa i bez ZVT, jedan ispitanik je rekao: „To se ne može niti staviti u istu rečenicu, koliko je oporavak sa ZVT bolji, brži i dublji“. Na pitanje „Mislite li da bi uvođenje ovakve procedure nakon treninga doprinijelo kvaliteti i kvantiteti rezultata?“, ispitanici su u 100% slučajeva odgovorili pozitivno uz odgovore poput „apsolutno da“, „definitivno da“, „to je neusporedivo“, „to uopće nije upitno“ i slično. Upitnik o usporedbi dojma oba protokola nakon 24 sata također je pokazao značajnu razliku u korist intervencije. Ispitanici su se nakon 24 sata osjećali značajno odmornije, pozitivnije, opuštenije, vitalnije i spremnije kako za trening tako i za svakodnevne izazove. Smanjenje bolnosti mišića i osjećaja „kiselosti“ bilo je više nego evidentno. U većini slučajeva ih uopće nije bilo ili su bili zanemarivo prisutni. Svi Ispitanici su izjavili kako bi uz ZVT mogli ponovno napraviti isti trening nakon 24 sata. Kvaliteta sna također je bolja nakon intervencije. Većina Ispitanika inače nema problema sa snom tako da je prijavljen nešto bolji kontinuitet spavanja uz prisustvo terapije, međutim povećan osjećaj odmora nakon sna, opuštenosti nakon buđenja i količina energije nakon intervencije bili su prisutni kod gotovo svih. Zaključno, nakon proučavanja odgovora na upitnik o subjektivnom dojmu, **može se nedvojbeno zaključiti kako je subjektivni dojam oporavaka nakon intenzivnog treninga uz upotrebu zvučno-vibracijske terapije tibetanskim zvučnim zdjelama značajno bolji u svim ispitivanim aspektima.** Subjektivna procjena fizičkog stanje bila je značajno bolja, nivo umora i bolnosti mišića vidno manji a količina energije u tijelu bila je veća. Psihičko, mentalno i emotivno stanje također je bilo upečatljivo pozitivnije. Značajan pad anksioznosti, uznemirenosti i bezvoljnosti uz upotrebu ZVT kako neposredno nakon treninga tako i 24 sata poslije, dok je želja za treningom je bila veća. Može se sa sigurnošću reći kako je subjektivni dojam ispitanika, bez izuzetka, pozitivan i potvrđuje učinkovitost terapije. Činjenica da su neki ispitanici izrazili želju nabavke tibetanskih zvučnih zdjela i prakticiranja ovog oblika terapije samostalno, kao sastavnog dijela kako treninga tako i života, potvrđuje ove nalaze.

RASPRAVA

Cilj i hipoteze istraživanja

Cilj ovog istraživanja je ispitati učinke zvučno-vibracijske terapije na aktivnost autonomnog živčanog sustava tijekom oporavka nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Iz postavljenog Cilja istraživanja postavljene su tri hipoteze:

Hipoteza 1 - Zvučno-vibracijska terapija značajno smanjuje simpatičku aktivnost autonomnog živčanog sustava nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Hipoteza 2 - Zvučno-vibracijska terapija značajno povećava parasimpatičku aktivnost autonomnog živčanog sustava nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Hipoteza 3 - Zvučno-vibracijska terapija značajno doprinosi poboljšanju brzine i kvalitete oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga.

Kratki sažetak rezultata

Analiziran je tijek oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga u protokolima sa i bez utjecaja zvučno-vibracijske terapije. Mjereni su kvantitativni parametri autonomnog i središnjeg živčanog sustava te kvalitativni pokazatelji subjektivnog dojma ispitanika. Kvantitativna i kvalitativna analiza pokazale su pozitivan utjecaj ZVT na oporavak kroz značajne razlike u varijabilnosti srčanog ritma, subjektivne procjene SEES skalom i opisom subjektivnog dojma ispitanika. Mjerene varijable središnjeg živčanog sustava nisu pokazale značajne razlike. Zaključno, analizom dobivenih rezultata potvrđene su sve tri postavljene hipoteze. U Raspravi koja slijedi, detaljno su interpretirani i kritički valorizirani dobiveni rezultati istraživanja. Rasprava uključuje usporedbu s relevantnom literaturom i postojećim teorijskim okvirima. Nakon Rasprave su razmotrene praktične implikacije istraživanja, njegov znanstveni doprinos kao i identificirana ograničenja ovog a predložene smjernice za buduća istraživanja.

Trening i oporavak kao ključni elementi trenažnog procesa

Trening predstavlja stimulaciju na adaptaciju organizma na zadane uvjete ili, slikovito rečeno, nacrt projekta. Uključuje planiranje, postavljanje ciljeva, organizaciju resursa i provođenje aktivnosti usmjerenih ka postizanju zadanih ciljeva. S druge strane, oporavak se može smatrati egzekucijom, odnosno praktičnim provođenjem i izvršenjem nacrta projekta. Iako projekt može biti dobro osmišljen, u slučaju da njegovo provođenje nije adekvatno, planirani nacrt se nikada neće realizirati. Prema tome, oporavak nakon treninga, kao egzekucija nacrta projekta, neophodan je za postizanje zadanih ciljeva treninga. Iako naizgled fizički pasivni dio trenažnog procesa, oporavak je izuzetno aktivan u terminima fiziološke i adaptibilne aktivnosti organizma. Iz tog razloga također zahtjeva svoje planiranje, programiranje i sukladno tome izvedbu. Bez adekvatnog oporavka, efekti treninga neće polučiti željene rezultate. Stoga, postupak realizacije projekta mora biti pomno planiran i imati jasnu strategiju kako bi se ostvario unutar zadanog vremena, ili realizirao uopće. Nedostatak vremena i/ili adekvatne strategije rezultira projektom koji ostaje samo „na papiru“ ili je djelomično izvršen. Kao rezultat, također slikovito rečeno, javlja se mnoštvo neizvršenih projekata i besmislena potrošnja uložених resursa. Zaključno, planiranje, programiranje i provedba treninga kao aktivnog dijela trenažnog procesa, zajedno s planiranjem, programiranjem i provedbom procesa oporavka, čine cjeloviti pristup planiranju, programiranju i provedbi trenažnog procesa. Tek zajednički ovi elementi tvore cjelinu koja vodi do postizanja maksimalnih rezultata.

Pregled dosadašnjih istraživanja

Svi adaptacijski procesi koji se dešavaju u i na tijelu kao rezultat treninga, odvijaju se tijekom oporavka. Međutim teorija i praksa sportskog oporavka toliko zaostaje za teorijom i praksom aktivnog dijela trenažnog procesa da većina sportaša uopće ne koristi nikakve tehnike ili procedure oporavka kako bi sportski napredak učinili uspješnijim i sigurnijim. Premda s nedovoljnom učestalošću, kao što je opisano u Uvodu i Problemu istraživanja ovog rada, u sportu postoje i koriste se metode oporavka, od kojih su možda najpopularnije hidratacija, optimizacija prehrane i san (Braun-Trocchio et al., 2022). Osim njih susreću se istezanje (Afonso et al., 2021), masaža (Davis et al., 2020), krioterapija (Rose et al., 2017) i uranjanje u ledenu vodu (Xiao et al., 2023c), elektrostimulacija (Pinar et al., 2012), infracrvena sauna (Ahokas et al., 2023b) i samo-miofascijalno opuštanje (Martínez-Aranda et al., 2024). Naravno da ovo nisu jedine metode, ali spadaju u nešto popularnije i zastupljenije. Od

navedenih praksi procesa oporavka poslije intenzivnog sportskog treninga, sve učestalije se proučava i koristi tehnika uranjanja u ledenu vodu. Metoda uranjanja u ledenu vodu, podrazumijeva izlaganje tijela ili dijelova tijela niskim temperaturama vode, obično oko 5 °C, na period od 2-3 minute (Burboa i sur., 2018). Xiao i sur. (2023b) u svom istraživanju navode kako izlaganje tijela niskim temperaturama vode dovodi do brzog smanjenja upala, mišićne boli i ubrzavanja procesa oporavka nakon intenzivnog fizičkog napora. Ledena kupka uz stimulaciju vagusa uzrokuje i vazokonstrikciju, što smanjuje protok krvi u površinskim tkivima reducirajući oticanje i upalu. Konkretno, dolazi do smanjenja razine kreatin kinaze i mliječne kiseline u krvi, što ukazuje na smanjenje mišićnih oštećenja i bolova. Nakon izlaska iz ledene vode nastupa vazodilatacija, povećavajući tako protok krvi u tkivima što pomaže u dopremi kisika i hranjivih tvari potrebnih za regeneraciju. Prednosti ove metode uključuju brzo smanjenje mišićne boli i ukočenosti, poboljšanje subjektivnog osjećaja oporavka, te potencijalno smanjenje rizika od ozljeda. Iako je uranjanje u tako ledenu vodu intenzivno iskustvo, kratko trajanje čini ga podnošljivim i učinkovitim za postizanje brzih rezultata u oporavku (Peake et al., 2016). Sve češća implementacija ove tehnike, ali i drugih metoda oporavka, daje nadu u ozbiljnije shvaćanje oporavka kao dijela trenažnog procesa. Za razliku od uvjeta u koje se sportaš prilikom uranjanja u ledenu vodu nalazi, i značajne razine neugode kroz koju prolazi, postoje i druge, bitno ugodnije i relaksirajuće terapije oporavka. Primjer takvih terapija su prakse temeljene na uporabi zvuka i zvučnih vibracija. Zvuk i zvučne vibracije koriste se u svrhu liječenja, opuštanja, oporavka, vjerskih ceremonija, rituala i komunikacije još od prapovijesti (Rojiani i sur., 2018). Potaknuto istraživanjima, u kliničkoj praksi sve je učestalija primjena glazba, zvučne i zvučno-vibracijska terapije kao postupaka u rehabilitaciji, oporavku i tretiranju široke palete psiholoških i emotivnih stanja i bolesti. Iako u samom temelju srodne, ove terapeutske metode imaju svoje specifičnosti. Glazba predstavlja kompleksni skup zvukova koji se proizvode i percipiraju kroz određene frekvencije, ritmove, melodije i harmonije (Kokkidou, 2022). Sve češće se koristi u sportu kao metoda utjecaja na psiho-fizičko stanje pojedinca (Laukka i Quick, 2011; Karageorghis i Priest, 2012). Prije ili tijekom treninga odnosno prije sportskih nastupa često se koristi kao pokretač mentalnih i emotivnih, a time i fizioloških reakcija, što rezultira postizanjem boljih sportskih rezultata (Ballmann, 2021; Bishop i sur., 2013). S druge strane, u periodu odmora učinkovito služi opuštanju i poticanju oporavka (Liu i sur., 2021; Jing i sur., 2008; Eliakim i sur., 2013). Za razliku od glazbene, zvukoterapija se fokusira na upotrebu jednostavnih i specifičnih zvučnih frekvencija, često generiranih instrumentima poput gongova, tuning vilica, električnih ili drugih uređaja koji proizvode čist ton ili frekvenciju. Ovakav terapijski

pristup koristi zvučne specifične frekvencije za promicanje fizičkog, mentalnog i emocionalnog zdravlja (Christianto i sur., 2020). Korištenje Schumannovih frekvencija u terapijske svrhe primjer je zvukoterapije (Danho i sur., 2019; Liu i sur., 2023). Osim reprodukcijom zvukova u prostor oko slušatelja, apliciranje zvuka slušalicama koristi se u slučaju binauralnih ritmova. Binauralni ritmovi predstavljaju auditivni fenomen nastao reprodukcijom tonova različitih frekvencija odvojeno za svako uho, generirajući tako treću tonalnost koja oscilira na frekvencijskoj razlici dva izvorna tona. (Naal-Ruiz i sur., 2022; Ingendoh i sur., 2023). Intenzifikacija djelovanja zvučnih vibracija postiže se polaganjem izvora zvuka direktno na tijelo. Za razliku od glazbene i zvučne terapije, tijekom zvučno-vibracijske terapije mehanička vibracija se uz zvuk s izvora prenosi izravno na tijelo. Na taj način sinkronizirane simultane vibracije i akustične senzacije djeluju združeno (Walters 1996; Campbell i sur., 2019; Kantor i sur., 2022). Istodobni, sinkronizirani i intenzivni tjelesni i slušni doživljaj aktivira mehanizme (opisane u Uvodu) koji dovode tretiranu osobu u stanje visokog osjećaja ugodnosti i relaksacije. Potaknuti istraživanjima, učinkovitost ove vrste terapije uviđaju i regulatorna tijela poput američkog FDA i britanskog BSI-a, odobravajući sve veći broj tehnika i uređaja temeljenih na zvučno-vibracijskoj terapiji kao sigurne i učinkovite (Bartel i Mosabbir, 2021). Povijesno, upotreba blagotvornog zvučno-vibracijskog učinka seže daleko u prošlost. Zvuk i vibracija koristili su se tisućama godina, a nativni narodi koriste je i danas u ritualne, ceremonijalne i iscjeljujuće svrhe, te kao potporu ulascima u dublja meditativna i izmijenjena stanja svijesti. Šamanski bubnjevi, gongovi i tibetanske zvučne zdjele, kao i zvučne vilice i muzičke stolice u modernije vrijeme, samo su neki od generatora zvuka i vibracija korištenih u postupcima ove vrste terapije (Gingras i sur., 2014). Danas se ZVT sve češće i raznovrsnije koristi radi poticanja psiho-fizičkih mehanizama iscjeljenja u cilju fizičkog, emotivnog i mentalnog blagostanja, a njena učinkovitost se potvrđuje i u znanosti i u praksi (Boyd-Brewer, 2003; Mosabbir, 2021b; Kantor i sur., 2022). Primjenjuje se u različitim vremenskim intervalima prilagođenim individualnim potrebama i komplementarna je s drugim terapijama, poput ručne masaže, fizikalne terapije i/ili terapije glazbom, pa se često primjenjuju zajedno (Boyd-Brewer i McCaffrey, 2004; Skille, 1989). Provedenim istraživanjem analiziran je utjecaj zvučno-vibracijske terapije na oporavak nakon intenzivnog sportskog treninga praćenjem promjena u CŽS-u, AŽS-u i prikupljanjem osobnih dojmova Ispitanika. Mjerene su kvantitativne varijable bioloških signala CŽS-a i AŽS-a kao fizioloških pokazatelja brzine i kvalitete oporavka uspoređujući period do 50 minuta neposredno nakon intenzivnog treninga, u protokolima sa i bez intervencije ZVT. Kao kvalitativni dio istraživanja provedena je procjena subjektivnog doživljaja oporavka Ispitanika

SEES skalom i posebno za ovo istraživanje osmišljenim Upitnikom subjektivnog dojma, također u oba protokola. SEES skalom procijenjen je subjektivni osjećaj pozitivne dobrobiti, stanje psihičkog distresa i umora. Upitnikom subjektivnog dojma procijenjen je subjektivni doživljaj Ispitanika tijekom procesa oporavka nakon intenzivne fizičke aktivnosti. Kvalitativno mjerenje napravljeno je i nakon 24 sata po završetku protokola. U ovom istraživanju, kao prvom takve vrste uopće, zvučno-vibracijska terapija korištena je u svrhu poticanja oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga, verificirajući njene učinke kroz fiziološke biomarkere i procjenu subjektivnog dojma. Generatori ZVT bile su tibetanske zvučne zdjele. To su idiofoni koje je moguće stavljati direktno na tijelo i tako istodobno generirati ugodni sinkronizirani zvučni doživljaj kompleksnih harmonika zajedno sa mehaničkim vibracijama koje se prenose kroz tijelo. Ovakav spoj stvara osobito iscjeljujuće iskustvo, duboko utječući na psiho-fizičko stanje osobe na koju se terapija primjenjuje (tibetanske zvučne zdjele, zvuk i vibracije kao i njihov učinak na organizam detaljno su opisani u Uvodu ovog istraživanja). Već su ozbiljno istraživane fizika i dinamika njihovih vibroakustičnih svojstava (Inácio i sur., 2006; Henrique i sur., 2004) a sve više istraživanja proučava mehanizme njihovog djelovanja na tijelo (Bartel i Mosabbir, 2021b). U kineziološkim istraživanjima i praksi, literatura o važnosti i metodama oporavka značajno zaostaju za istraživanjima o aktivnom dijelu trenažnog procesa. Vrlo je važno podizanje svijesti o važnosti oporavka kao dijela trenažnog procesa kako zbog progresa sportskih rezultata tako i zbog prevencije ozljeda i povećanja opće dobrobiti sportaša.

Analiza i rasprava dobivenih rezultata

U ovom istraživanju uzorak su činili 24 anamnestički zdrava Ispitanika muškog spola od 25 do 45 godina ($\bar{x} = 34.79$, $\sigma = 5.85$), amaterski sportaši i rekreativci koji su u redovitom intenzivnom trenažnom procesu, različitog socijalnog statusa. Neposredno prije i neposredno nakon intenzivnog sportskog treninga, te na kraju predviđenog intervala oporavka, mjereni su biosignali ispitanika kao kvantitativne varijable Nexus 10 uređajem (opisanim u poglavlju Instrumenti) u protokolima sa i bez zvučno-vibracijske terapije (opisani u poglavlju Protokol mjerenja). Ovim protokolom mjerene su varijable CŽS-a i AŽS-a (opisane u u poglavlju Uvod i navedene u poglavlju Mjerene varijable) te su rezultati statistički obrađeni i prezentirani u poglavlju Rezultati. Kvalitativne varijable dobivene su SEES skalom i Upitnikom subjektivnog dojma (opisano u Instrumenti). Upitnik i SEES skala provedeni su i nakon 24 sata po završetku svakog protokola. Uz mjerenja biosignala predviđena u

originalnom dizajnu istraživanja, koja predstavljaju pouzdane i dokazane markere AŽS-a i CŽS-a, a na kojima se dobiveni zaključci temelje, dodatno su mjereni još neki biomarkeri jer je za to tijekom mjerenja zadanih varijabli postojala otvorena mogućnost. Naime, osim mjerenja HRV-a, alfa i alfa/theta moždanih valova, u procesu oporavka mjereni su i električna provodljivost kože, temperatura na površini kože, koherencija srčano-respiratornog sustava kao markeri AŽS-a, a također je dodano i mjerenje vršne alfa frekvencije kao dodatni marker stanja CŽS-a. Dodatna mjerenja ni na koji način nisu utjecala na prvotnim dizajnom predviđena mjerenja i rezultate, nego su dodane samo kao dodatak prvotnom projektu disertacije, kako bi se produbili mogući uvidi i još više proširile trenutne spoznaje. Kao što je i očekivano, ove varijable nisu pokazale značajnu razliku zbog specifičnosti mjerenja u ovom istraživanju, što je opisano u raspravi svake pojedine varijable.

Mjerene varijable								
Kvantitativne varijable	CŽS (nisu značajne razlike)		Amplituda alfa valova		Omjer alfa/theta valova		Vršna frekvencija alfa valova	
	AŽS	Varijabilnost srčanog ritma	značajne razlike	HRVamp	NNmin	NNmax	NN50	pNN50
			nisu značajne razlike	SDNN	RMSSD	HF	%HF	
		Kontekstualne varijable (nisu značajne razlike)	BVP	Frekvencija disanja	Amplituda disanja	Srčana frekvencija	NNmean	
		Dodatno mjerene varijable (nisu značajne razlike)	Električna provodljivost kože		Površinska temperatura kože		Koherencija srčanog i respiratornog ritma	
Kvalitativne varijable	SEES skala (značajne razlike)	Stanje pozitivne dobrobiti		Psihološki distres		Umor		
	Upitnik subjektivnog dojma (značajne razlike)	Opis subjektivnog dojma						

Tablični prikaz 4 – klasifikacija mjerenih varijabli uz prikaz statističke značajnosti

Rasprava i potvrda prve i druge hipoteze

Hipoteza 1: Zvučno-vibracijska terapija značajno smanjuje simpatičku aktivnost autonomnog živčanog sustava nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Hipoteza 2: Zvučno-vibracijska terapija značajno povećava parasimpatičku aktivnost autonomnog živčanog sustava nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Prva i druga hipoteza odnose se na aktivnost AŽS-a i pretpostavljaju da ZVT značajno utječe na simpatovagalni balans tijekom oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga, inhibirajući simpatičko a stimulirajući vagusno djelovanje. Smanjenje simpatičke i povećanje parasimpatičke aktivnosti uz djelovanje ZVT značilo bi, na temelju opisa u Uvodu, kako ova metoda značajno doprinosi procesu oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga. Iako se simpatička pobuda povlači brzo nakon prestanka aktivnosti, povratak vagusnog tonusa je značajno sporiji (Kaikkonen i sur., 2007; Martinmaki i Rusko, 2007; Michael i sur., 2016). U svrhu dokazivanja 1. i 2. Hipoteze slijedi rasprava dobivenih rezultata mjerenih varijabli AŽS-a. Prvo su analizirani i raspravljani rezultati kontekstualnih varijabli kako bi se prije tumačenja markera AŽS-a utvrdilo jesu li RSA i BVP imali utjecaj na dobivene vrijednosti HRV-a. **Frekvencija srca, amplituda i frekvencija disanja, BVP i NNmean** mjerene su u svrhu konteksta. Njihovo tumačenje važno je za precizan uvid u ponašanje simpatikusa i parasimpatikusa pod utjecajem zvučno-vibracijske terapije. Naime, kako bi se što pouzdanije utvrdio direktni utjecaj ZVT a isključio utjecaj RSA (opisano u poglavlju Respiratorna sinus aritmija) na vagus i HRV, trebalo je utvrditi eventualno postojanje razlike u frekvenciji srca, krvnog tlaka te dubini i frekvenciji disanja uspoređujući oba protokola. Varijabilnost srčanog ritma snažno je povezana s disanjem (Bailón i sur., 2007; García-González i sur., 2000; Lenis i sur., 2017). Postoje dva glavna razloga za tu činjenicu. Prvo - disanje, srčani ritam i krvni tlak dio su kardiorespiratornog sustava koji je reguliran AŽS-om putem povezanog sustava povratnih sprega. Stoga unutarnji ili vanjski utjecaj na promjene u jednom od tih sustava ima izravan utjecaj na druge. Drugo – RSA, uslijed koje srčani ritam raste tijekom udisaja i smanjuje se tijekom izdisaja, također dovodi do sinkroniziranog povezivanja obrazaca disanja i ritma srca. U skladu s tim RSA utječe na varijabilnost srčanog ritma tijekom fiziološke respiratorne aktivnosti (Ben-Tal i sur., 2012). Budući da frekvencija srca, frekvencija i amplituda respiracije, BVP kao i NNmean nisu pokazale statistički značajna odstupanja, utjecaj krvnog tlaka i RSA može se isključiti (Bailón i sur., 2007; García-González i sur., 2000). Nadalje, statistički nepromijenjena srčana frekvencija i NNmean upućuju na jednako

fiziološko opterećenje u oba protokola kao i gotovo identične uvjete napora i oporavaka kojima su Ispitanici bili izloženi. Ovo je još jedan nužan parametar dobivanja cjelovitog i pouzdanog konteksta mjerenja, a gotovo neizvediv u mjerenjima gdje se kontrolna i eksperimentalna skupina sastoje od različitih ispitanika. Nepromijenjena FS u oba mjerenja također omogućuje čišći uvid i jednostavniju analizu HRV varijabli. Jedna od namjera ovog Rada bila je izmjeriti i stanje CŽS-a tijekom oporavka. Uzimajući u obzir brzu stabilizaciju moždanih valova nakon aktivnosti, maksimalno skraćanje pauze između kraja treninga i početka mjerenja oporavka bio je prioritet. Kako bi pokušali „uhvatiti“ CŽS parametre prije njihove stabilizacije nije bilo vremena mjeriti krvni tlak klasičnim načinom. Zato je uzet BVP kao zamjenska varijabla jer postoji znanstveni temelj korištenja BVP-a kao mjere krvnog tlaka (Weng i sur., 2002; Cheng i sur., 2021; Chen i sur., 2023). Slijedom navedenog, nakon statističke obrade BVP nije pokazao gotovo nikakva odstupanja uspoređujući oba protokola. Isključivanjem utjecaj BVP i RSA na HRV, i utvrđenu konzistentnost srčanog ritma u oba protokola, može se zaključiti kako su sve dobivene razlike HRV-a potaknute isključivo utjecajem zvučno-vibracijske terapije. U nastavku slijedi tumačenje varijabli HRV-a.

VLF kao odraz dugotrajnih tjelesnih procesa nije pokazao statističko odstupanje, što je bilo u skladu s očekivanjima. Naime cilj rada je bio ispitati akutni utjecaj ZVT na oporavak nakon intenzivne aktivnosti. Uzimajući u obzir da je VLF indeks dugotrajnijih promjena i utjecaja na autonomnu regulaciju, akutni utjecaj ZVT-a na VLF nije bio ni očekivan.

LF i **%LF**, kao mogući pokazatelji simpatičke aktivnosti, ako je dominantno prisutna, također su ostali stabilni i statistički nisu pokazati nikakva odstupanja. Ovaj nalaz ukazuje, s obzirom na značajan porast parasimpatičke snage spektra u eksperimentalnom protokolu, na pad simpatičke aktivnosti u omjeru, promatrajući omjer kroz ukupnu snagu simpatovagalne ravnoteže. **LF/HF** omjer također nije pokazao značajna odstupanja iako vidljiva tendencija smanjenja omjera u smjeru vagalne prevage. Imajući u vidu kompleksnost ovog pokazatelja, koja je opisana u Uvodu, i trend ponašanja tijekom oporavka, očekivanje nastavka njegovog pada u daljnjem periodu oporavka nakon ZVT, logična je asumpcija. Postupan pad simpatičkog a porast parasimpatičkog utjecaja, kakav trend pokazuju dobiveni rezultati, nedvojbeno vodi smanjenju omjera, iako tijekom ovog dizajna protokola nije značajno potvrđen. **HRVamp, NNmin, NNmax, SDNN, RMSSD, NN50, pNN50, HF, %HF** kao glavni vagusni i parasimpatički markeri **pokazali su statistički značajnu pozitivnu razliku** (tablični prikaz 4). Značajno je primijetiti nastavak pada ovih parametara u kontrolnom protokolu bez ZVT-a i nakon završetka protokola umaranja, tijekom cijelog procesa oporavka, sve do kraja mjenog razdoblja. Za razliku od kontrolnog protokola, uz

intervenciju tibetanskim zdjelama njihova vrijednost naglo je počela rasti od samog početka terapije, i trend intenzivnog rasta nastavio se do kraja mjerenog razdoblja. **HRVamp** – uz upotrebu ZVT, značajno je porasla, ukazujući na povećanje amplitude varijabilnosti otkucaja. Kao općenita mjera HRV-a, HRVamp je prvi i općeniti značajan pokazatelj porasta autonomne varijabilnosti u ovom istraživanju. Dalje, tijekom intervencije **NNmin** se značajno smanjio a **NNmax** značajno porastao dok je **NNmean** ostao nepromijenjen, što također ukazuje na povećanje amplitude varijabilnosti uz jednak prosječan razmak između srčanih otkucaja. To je drugi značajan pokazatelj bržeg preuzimanja vagusne kontrole pod utjecajem ZVT-a. Značajan porast broja parova NN intervala različitih za više od 50 milisekundi - **NN50**, kao i njihov značajan porast u sveukupnom postotku broja otkucaja **pNN50**, ukazuju na značajan porast IBI većih od 50 ms pod utjecajem ZVT. Ovakvi rezultati također odražavaju povećanu varijabilnost srčanog ritma i indikatori su porasta vagusnog tonusa. Isključivanjem utjecaja promjene FS, dobiveni rezultati nedvojbeno svjedoče o neovisnom pozitivnom utjecaju zvučno-vibracijske terapije na uspostavljanje vagusne kontrole i brži ulazak u zonu oporavka. Kao jedan od glavnih pokazatelja vrijednosti vagusnog utjecaja, **SDNN** je također pokazao pozitivno statistički značajno odstupanje. Porast parasimpatičke i pad simpatičke aktivnosti tijekom intervencija a obrnuti trend bez intervencije, nedvojbeno ukazuju na snažan doprinos ZVT oporavku, regeneraciji i uspostavljanju balansa AŽS-a. **RMSSD**, kao **ključni** pokazatelj vagalnog tonusa u ovom istraživanju, **snažno je korelirao sa zvučno-vibracijskom terapijom**. Tijekom eksperimentalnog protokola oporavka sa intervencijom naglo je rastao, dok je u kontrolnom protokolu bez intervencije nastavio padati i nakon završetka treninga. Ovakvi rezultati, osim pobude parasimpatičkog sustava, direktno ukazuju i na povećanu fleksibilnost AŽS-a, pojačan pad stresa i prelazak tjelesnih sustava u mod regeneracije i oporavka pod utjecajem ZVT. **Ovo je suštinski nalaz istraživanja koji u datom kontekstu, čak i bez obzira na vrijednosti drugih varijabli, potvrđuje sve tri hipoteze**. U frekvencijskoj domeni, značajan porast vrijednosti **HF** u eksperimentalnom protokolu ukazuje na porast parasimpatičke aktivnosti. Rast HF-a povezan je s opuštenim stanjima, nižom razinom stresa i adaptivnim reakcijama organizma na okolinu, dok pad HF snage korelira sa stresom, panikom, anksioznošću i/ili brigom. HF marker također snažno korelira s vremenskim pokazateljima pNN50 i RMSSD (Kleiger i sur., 2005). Porast **%HF** u sveukupnoj snazi spektra ukazuje na porast omjera autonomne regulacije u smjeru parasimpatičke kontrole, što također upućuje i na odgovarajući pad simpatičke aktivnosti. Zajedno, porast HF snage i povećanje %HF, kao mjere frekvencijske domene, nedvojbeno ukazuju na porast kontrole PŽS-a i pad snage SŽS-a pod utjecajem ZVT. Zanimljivo je

primijetiti kako su RMSSD vrijednosti nakon treninga u ZVT protokolu bile čak niže od onih u kontrolnom, da bi na kraju oporavka narasle u značajno više. Ovo dodatno ukazuje na porast varijabilnosti uz primjenu ZVT. Slični pokazatelji vidljivi su i u slučaju SDNN vrijednosti kao i kod drugih HRV pokazatelja. Dakle prosječna HRV vrijednost u eksperimentalnom protokolu bila je čak nešto niža od kontrolnog. Uzrok tome može biti nešto veća motivacija i posljedično nešto jači intenzitet treninga kada su ispitanici znali da se taj dan provodi eksperimentalno testiranje. Te male razlike nisu bile statistički značajne, ali promatranjem grafičkog prikaza moguće ih je zapaziti. Kako ni jedan parametar koji bi ukazivao na rast simpatičke aktivnosti nije povišen, a svi markeri parasimpatičke aktivnosti značajno viši, nedvojbeno se može zaključiti kako je simpatička aktivnost inhibirana porastom vagusnog tonusa te je niža u eksperimentalnom protokolu. Zaključku svakako doprinosi i promatranje simpatičke aktivnosti u kontekstu omjera u odnosu na parasimpatičku gdje uočljiv porast omjera parasimpatičke aktivnosti u odnosu na simpatičku. Nadalje, vrijednosti **HRVamp**, **NNmin**, **NNmax**, **SDNN**, **RMSSD**, **NN50**, **pNN50**, **HF** i **%HF**, u protokolu bez ZV intervencije nastavile su se kretati u smjeru porasta simpatičke aktivnosti do kraja mjenog razdoblja dok su uz intervenciju vrijednosti krenule smjerom naglog porasta vagusne dominacije i brzog prelaska u parasimpatički mod odmora i regeneracije. Zaključno, značajne statističke razlike dobivene su u varijablama koje pokazuju parasimpatičku aktivnost, što ukazuje na značajno veći i značajno brži porast vagusnog tonusa u toku oporavka uz primjenu ZVT. Drugim riječima, **HRV amp**, **NNmin**, **NNmax**, **SDNN**, **RMSSD**, **NN50**, **pNN50**, **HF**, **%HF** značajnim razlikama u eksperimentalnom protokolu nedvojbeno su potvrdili prvu i drugu hipotezu.

Analiza i rasprava dodatno mjerenih varijabli AŽS-a

Električna provodljivost kože nije pokazala značajnu promjenu u interakciji vrijeme/intervencija uspoređujući protokole sa i bez ZVT. Iako je simpatička dominacija, sudeći po drugim parametrima, manja u eksperimentalnom nego kontrolnom protokolu, na provodljivost kože je evidentno utjecala i perspiracija. Kako se tijelo nakon intenzivnog treninga i dalje znoji nastojeći spustiti radnu temperaturu, tako je vlažnost kože ostala u oba slučaja povišena. Iz tog razloga je, bez obzira na pad simpatičke aktivnosti, provodljivost ostala povišena u oba protokola, što sugerira da ovakav rezultat nije nužno pokazatelj aktivnost AŽS-a. Iako je pad provodljivosti, uz primjenu ZVT bio vidljiv, nije bio statistički značajan. Potreban je drugačiji protokol kako bi provodljivost kože, uz primjenu iste

intervencije, pokazala značajan pomak. Opisano mjerenje provedeno je kao dodatak planiranim varijablama i bilo je zanimljivo istražiti rezultat.

Temperatura na površini kože također nije pokazala značajna odstupanja, vjerojatno iz sličnog razloga kao i njena električna provodljivost. Toplina tijela nakon visokointenzivnog treninga i dalje je bila pod utjecajem zagrijane muskulature, što je usporavalo promjenu temperature nakon aktivnosti. Kako je i ovo dodatno mjerenje, bilo je zanimljivo promotriti njegovo ponašanje. Iako je uz upotrebu ZVT pad temperature bio sporiji, što bi ukazivalo na parasimpatičku aktivnost, razlika u konačnici nije bila statistički značajna.

Koherencija srčanog i respiratornog ritma - nije pokazala značajnu razliku. Također jedno od dodatnih mjerenja koja su dodana originalnom dizajnu eksperimenta. Budući da je mogla biti mjerena i izračunata iz dobivenih rezultata, napravljena je statistička analiza i ove varijable. Iako nije bilo očekivano postići koherenciju, ovo dodatno mjerenje bilo je zanimljivo napraviti kako bi se utvrdilo hoće li jedan od protokola oporavka, sam po sebi, bez svjesne kontrole disanja, doprinijeti više u smjeru uspostavljanja kardio-respiratorne koherencije. Rezultati nisu pokazali gotovo nikakvu razliku. Ali isključivanjem utjecaja RSA na HRV, logično je pretpostaviti da niti koherencija srčanog i respiratornog ritma neće pokazati statistički značajna odstupanja.

Analiza i rasprava dobivenih rezultata CŽS-a

Uspoređujući prethodna istraživanja i dosadašnje spoznaje, CŽS se vraća u balans već nakon nekoliko minuta po prestanku fizičke aktivnosti. Varijacija alfa aktivnosti, sudeći po prijašnjim radovima, korelira s varijacijama u cijelom frekvencijskom EEG spektru (Ciria i sur., 2018). Uvidom u rezultate dosadašnjih studija, promjene CŽS-a potrebno je mjeriti pri samom kraju aktivnosti i do neposredno 6 min po njenom završetku (Crabbe i Dishman, 2004; Ciria i sur., 2018; Gramkow et al., 2020). U prikazanim mjerenjima ovog istraživanja Ispitaniku je bilo potrebno nekoliko minuta kako bi nakon treninga došao do mjernog mjesta i legao, najmanje desetak minuta za postavljanje mjernih uređaja, spajanje senzora i namještanje Ispitanika u odgovarajući položaj, a sama intervencija trajala je 30 minuta. Dakle mnogo prije isteka tog vremena, čak i prije početka ZVT, CŽS aktivnost već se potpuno vratila na svoje početno stabilno stanje. **Amplituda alfa valova, omjer alfa/theta valova i APF** kao mjere CŽS-a iz tog razloga nisu pokazale statistički značajne razlike. Iako **amplituda alfa valova** pokazuje tendenciju pada u eksperimentalnom protokolu u odnosu na kontrolni, a u kontrolnom protokolu nastavlja rasti i nakon prestanka aktivnosti, vjerojatno se radi o padu ili rastu snage cijelog EEG spektra. To bi moglo ukazivati na pad cjelokupne

moždane aktivnosti i ulazak u opuštenije stanje u protokolu sa ZVT, iako ne nužno vezano za prethodnu fizičku aktivnost. Usprkos tome što postoji tendencija, izmjereni pad aktivnosti u eksp. protokolu, nije bio statistički značajan. **Alfa/theta omjer** također nije pokazao značajnu razliku. Međutim, na grafičkom prikazu jasno je vidljiva tendencija porasta alfa/theta omjera sa, i pad alfa/theta omjera bez ZVT. Njihov suprotan trend, na osnovu ovih nalaza, sugerira realnu pretpostavku da bi prilagođeniji protokol mjerenja isključivo ovoj varijabli, mogao pokazati statističku značajnost. Porast alpha/theta omjera ukazuje na CŽS parametre opće relaksiranosti i odgovora na terapiju ali opet, ne nužno vezano za prethodno provedenu fizičku aktivnost. **APF**, kao dodatno mjerenje, pokazao je gotovo identičnu vrijednost. Ova varijabla nije pokazala nikakva odstupanja, što potvrđuje njenu „osobnost“ opisanu u Uvodu.

Analiza i rasprava kvalitativnih rezultata dobivenih SEES skalom i Upitnikom subjektivnog dojma

SEES skalom procjenjivan je subjektivni doživljaj oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga Ispitanika u tri kategorije (MeAuley i Courneya, 1994): Stanje pozitivne dobrobiti, Psihološki distres i Umor. Statističkom obradom kvalitativnih podataka SEES skale sve tri kategorije pokazale su statistički značajnu razliku i potvrdile bolji oporavak uz upotrebu ZVT. **Stanje pozitivne dobrobiti** tijekom oporavka, neposredno nakon opterećenja značajno je bolje, a taj trend se, manjim intenzitetom, nastavio i u sljedeća 24 sata. **Psihološki distres** značajno je smanjen tijekom oporavka uz ZVT i ostao je na toj razini sljedeća 24 sata. Bez upotrebe ZVT-a, pad psihološkog distresa bio je također prisutan ali značajno manje nego uz intervenciju. Tijekom sljedeća 24 sata, u protokolu bez ZVT, distres je ponovno rastao čak i bez provođenja bilo kakvog fizičkog treninga. **Umor** je također bio statistički značajno manji nakon ZVT. U oba protokola nastavljaio je padati i u naredna 24 sata, ali se u protokolu zvučno-vibracijske terapije, nakon treninga značajno više smanjio pa je iz tog razloga i nakon 24 sata bio istaknuto manji. **Upitnikom subjektivnog dojma** oporavka prikupljeni osobni dojmovi ispitanika doprinose jasnijem uvidu u stanje oporavka nakon intenzivnog treninga sa i bez ZVT. Naime, gotovo je nemoguće izmjeriti sve parametre zahvaćene nekom intervencijom kojom bi se utjecalo na oporavak. Samo kvantitativna analiza nedostatna je prenijeti cjeloviti dojam, koji je i sama svrha ovog istraživanja. Realni subjektivni osjećaj oporavka i odmora ispitanika, kao i njihov realni dojam utjecaja ZVT na oporavak, svakako upotpunjuje dobivenu kvantitativnu sliku. Može li testirana praksa, sudeći prema vlastitim dojmovima, biti realno korištena u praksi s ciljem ubrzanja oporavka, uz benefite koje brži oporavak sa sobom nosi? Za ovakav uvid bilo je nužno dopunsko opisno pojašnjenje. Stoga je

teško reći nadopunjuju li kvalitativni rezultati kvantitativne ili obrnuto. Ispitanici su svojim osobnim impresijama potvrdili i proširili kvantitativno izmjerene pokazatelje i tako dali širu sliku kao i detaljniji i dublji uvid u učinkovitost intervencije. Vođeni pitanjima o osjećaju prije i nakon treninga, te nakon oporavka sa i bez ZVT, nivou umora, bolnosti mišića, psiho-fizičkog stanja, kvaliteti oporavka i sna kao i o ugodi i učinkovitosti terapije, ispitanici su bez izuzetka opisali terapiju kao neočekivano učinkovitu. Ukazivali su na viši stupanj energije, pad umora i anksioznosti, izostanak bolnosti mišića, kvalitetniji san, generalno psiho-fizički boljitak. Nekoliko ispitanika izrazilo želju za ponavljanjem terapije u privatnom aranžmanu i/ili kupnju tibetanskih zvučnih zdjela i korištenje istih kao dio trenažnog procesa i kao praksu wellnessa u vlastitom domu. Učinak zvučno-vibracijske terapije, sudeći po osobnim dojmovima ispitanika bio je iznad očekivanja. Spajajući individualne rezultate mjerenih varijabli, SEES skale i subjektivnog opisa ispitanika u jedinstven mozaik, dobivena slika bez dvojbe prikazuje pozitivan učinak zvučno-vibracijske terapije na oporavak i regeneraciju nakon intenzivnog sportskog treninga.

Rasprava i potvrda treće hipoteze

Hipoteza 3 - Zvučno-vibracijska terapija značajno doprinosi poboljšanju brzine i kvalitete oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga.

Povećanje parasimpatičke aktivnosti i porast vagusnog tonusa osnovni su indikatori stabiliziranja rada AŽS-a i oporavka nakon intenzivne fizičke aktivnosti (Goldberger i sur., 2006; Peçanha i sur., 2017; Laborde i sur., 2023). Ovo je također potvrđeno i izlaganjem u Uvodu svim navedenim referentnim istraživanjima. Slijedom navedenog, uzimajući u obzir sve izložene činjenice, prezentirana relevantna referentna istraživanja, izmjerene i statistički obrađene rezultate te dosadašnji dio Rasprave, jasno je vidljivo kako su zadani i relevantni kvantitativni markeri AŽS-a i kontekstualne varijable, kao i kvalitativni pokazatelji subjektivnog dojma Ispitanika nedvojbeno pokazali pozitivan utjecaj zvučno-vibracijske terapije na oporavak nakon intenzivne sportske aktivnosti. Na temelju dobivenih rezultata, navedenih činjenica i provedene Rasprave, može se nedvojbeno konstatirati da je i treća hipoteza ovog istraživanja u potpunosti potvrđena.

Sažetak Rasprave

Pozitivan utjecaj zvučno-vibracijske terapije potvrđen je kroz tri mjerna alata - kvantitativnim mjerenjima AŽS-a NEXUS 10 uređajem, SEES skalom i opisom subjektivnog dojma Ispitanika. Zvučno-vibracijska terapija tibetanskim zvučnim zdjelama u ovom istraživanju

potvrđena je kao učinkovita metoda oporavka. Ovo je prvo istraživanje ovakve vrste iz kojeg je razloga teško uspoređivati nalaze s drugim takvim istraživanjima. Mjerenje oporavka nakon intenzivne fizičke aktivnosti nosi sa sobom određene specifičnosti koje testiranja u nepobuđenim okolnostima nemaju. Visok stupanj pobude AŽS-a, snažan „ulazni“ disbalans simpatovagalne ravnoteže, intenzivna fiziološka i emotivna pobuđenost, pojačana perspiracija i povišena tjelesna temperatura uvjetovali su kontekst u kojima su neke varijable imale drugačija očitavanja nego u nepobuđenim, mirnijim stanjima. Zbog toga su mjerene varijable i tumačenje konteksta rezultata imali svoje specifičnosti. Međutim, u konačnici, rezultati su u skladu s postojećim referentnim istraživanjima i potvrđuju snažan utjecaj ZVT na opuštanje, vagalnu reaktivaciju, balansiranje AŽS-a, pozitivan utjecaj na emocije, anksioznost, oporavak i regeneraciju. Iz uvida u dosadašnja istraživanja (Laborde i sur., 2023b; Gutmann i sur., 2015; Peçanha i sur., 2017) i izlaganja o CŽS-u u Uvodu ove disertacije, vidljivo je kako se markeri CŽS-a ne mogu uzimati kao relevantni pokazatelji oporavka nakon fizičke aktivnosti. Također iz Uvoda i tamo navedenih istraživanja, jasno je kako simpato-vagalni balans predstavlja objektivni, relevantni i pouzdani pokazatelj stanja AŽS-a i oporavka nakon intenzivne sportske aktivnosti. Slijedom navedenog vidljivo je da bi uvjeti protokola mjerenja morali biti prilagođeniji i broj mjerenih varijabli CŽS-a veći, kako bi se stanje CŽS-a moglo preciznije definirati i na taj način utjecaj ZVT na oporavak preko tog parametra utvrditi. No s obzirom na jako brzu normalizaciju i stabilizaciju CŽS parametara, realno je postaviti pitanje je li uopće moguće utvrditi utjecaj ZVT-a, ili neke druge tehnike oporavka, na tjelesni oporavak nakon intenzivnog sportskog treninga ili fizičke aktivnosti generalno, kroz promatranje EEG markera.

IMPLIKACIJE ISTRAŽIVANJA I OČEKIVANI ZNANSTVENI DOPRINOS

Predstavljeno istraživanje pokazalo je veliki potencijal zvučno-vibracijske terapije tibetanskim zvučnim zdjelama kao metode oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga. Proučavanje tehnika oporavka nakon sportskog treninga uključuje razumijevanje fizioloških procesa, metaboličkih promjena, biomehaničkih aspekata, utjecaja na mišićno tkivo, srčani i živčani sustav te druge faktore utjecaja na brzinu i kvalitetu oporavka nakon fizičke aktivnosti. Dublje razumijevanje ovih mehanizama omogućuje razvijanje tehnika oporavka koje bi svakako doprinijele sistematičnom i progresivnom napretku razvoja kinezioloških spoznaja. Poticanje procesa oporavka nakon sportskih napora omogućuje bolju i bržu regeneraciju organizma što za posljedicu donosi potencijalno veću učestalost i intenzitet treninga, bolju sportsku formu, smanjenje broja sportskih ozljeda i unapređenje općeg zdravstvenog stanja sportaša. Dobiveni rezultati pokazali su kako postoji razlog nastavka smjera ovakvih istraživanja i njihove primjene u praksi. Primjenom ove i sličnih metoda mogla bi se stvoriti nova niša istraživanja, slijedom kojih bi se potencijalno omogućilo postizanje boljih sportskih rezultata, smanjenje ozljeda i podizanja sveopće kvalitete života sportaša. Metode oporavka nude veliko, još uvijek neistraženo područje razvoja kineziološke znanosti. Prezentirano istraživanje, kao prvo takve vrste, predstavlja pionirski korak u tom smjeru, što predstavlja značajan znanstveni doprinos. Osmišljeni protokoli umaranja i mjerenja relevantnih varijabli, te njihovo sistematiziranje u kontekst kineziološke znanosti može postati polazna točka nastavku ovakvih istraživanja. Provedena opsežna kvalitativna i kvantitativna mjerenja, dobiveni rezultati kao i detaljna Rasprava otvaraju cijeli spektar novih mogućnosti i smjerova istraživanja. Uvođenje zvučno-vibracijske terapije kao metode oporavka može pružiti novi, neinvazivan i potencijalno učinkovit pristup u sportu i fizioterapiji, proširujući postojeće metode za sportaše i terapeute.

OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA

Ovo istraživanje ima nekoliko ograničenja:

Prvo, mjerenja stanja CŽS-a bilo je ograničeno samo na mjerenje alfa valova i promatranje alfa/theta omjera. Mjerenje cijelog spektra EEG aktivnosti moglo bi dati dublji uvid u ponašanje CŽS-a pri primjeni ZVT-a. Isto tako, s obzirom da se stabilizacija EEG spektra postiže u roku od samo nekoliko minuta po prestanku aktivnosti, razvijanje protokola mjerenja moždanih valova pri završetku aktivnosti i u prvih nekoliko minuta po prestanku aktivnosti, a uz upotrebu ZVT, moglo bi pružiti detaljniji uvid u ponašanje CŽS-a i njegov oporavak.

Drugo, ovo je istraživanje provedeno isključivo na zdravim treniranim sudionicima muškog spola u dobi od 25-45 godina, ograničene veličine uzorka. Da bi razina ekstrapolacije na širu populaciju bila moguća, potrebno je provesti mjerenja i na drugačijem uzorku ispitanika.

Treće, utjecaj zvučno-vibracijske terapije u ovom istraživanju proučavano je korištenjem tibetanskih zvučnih zdjela. Budući da postoje i drugi postupci aplikacije ZVT, istraživanje utjecaja primjene drugih metoda aplikacije moglo bi proširiti spoznaje i pomoći u stvaranju protokola primjene ove metode oporavka u praksi.

Četvrto, mjerenje aktivnosti CŽS-a i AŽS-a, SEES skala i Opis subjektivnog dojma su samo dio mogućih parametara oporavka koje je obuhvatilo ovo istraživanje. Mjerenje tenziomiografijom, EMG-om, povećanja fleksibilnosti, utjecaja primjene ZVT na sportske performanse, koncentraciju laktata i slično, te drugačiji protokoli umaranja, samo su neke od mogućnosti kojima bi se u budućim istraživanjima mogao proširiti uvid u potencijal ove vrste terapije.

ZAKLJUČAK

Ovo je prvo istraživanje koje proučava utjecaj zvučno-vibracijske terapije tibetanskim zvučnim zdjelama na oporavak nakon intenzivnog sportskog treninga. Mjeren je njihov utjecaj na oporavak promatrajući promjene u CŽS-a i AŽS-u, kao i sveukupan osobni dojam ispitanika. Zbog izostanka prethodnih iskustava i barem okvirnog modela koji se može slijediti, istraživanje je bilo zahtjevno za sve sudionike. Svaki Ispitanik volonter morao je odvojiti prosječno šest sati za mjerenje, podijeljeno u dva puta po tri sata s razmakom od 7 dana, slijediti upute načina života te izdržati izuzetno naporene treninge nakon kojih je slijedilo nepomično ležanje u trajanju od prosječno 45 minuta. Osmišljavanje protokola treninga i mjerenja, načina mjerenja i prikupljanja rezultata bili su također izazov. U konačnici trud se isplatio novim spoznajama i dobivanjem statistički značajnih razlika koje su potvrdile sve postavljene hipoteze.

Cilj ovog istraživanja bio je ispitati učinke zvučno-vibracijske terapije na aktivnost autonomnog živčanog sustava tijekom oporavka nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Hipoteza 1: Zvučno-vibracijska terapija značajno smanjuje simpatičku aktivnost autonomnog živčanog sustava nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Hipoteza 2: Zvučno-vibracijska terapija značajno povećava parasimpatičku aktivnost autonomnog živčanog sustava nakon protokola umaranja visoko intenzivnom tjelesnom aktivnosti.

Hipoteza 3: Zvučno-vibracijska terapija značajno doprinosi poboljšanju brzine i kvalitete oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga.

Imajući u vidu međusobno integrirani i uvjetovani simpatičko-parasimpatički odnos, uz zadani Cilj postavljene su prva i druga hipoteze koje jedna drugu uvjetuju i nadopunjuju. Slijedom postavljenog Cilja, originalnim dizajnom istraživanja određeni, a zatim su izmjereni, obrađeni i prezentirani kvantitativni rezultati parametara AŽS-a svih 24 Ispitanika u protokolima sa i bez ZVT (opisanih u Metodama). Svi vrednovani parametri pokazali su statističku značajnost tamo gdje je ona bila i očekivana. Simpatički markeri pokazali su značajan pad u odnosu na parasimpatičke, što je najbolje vidljivo iz razlike u promjeni simpato-vagalnog omjera tijekom oporavka sa i bez ZVT-a. Simpatikus i parasimpatikus su međusobno uvjetovani i nerazdvojivi tjelesni autonomni sustavi bez čijeg stalnog međudjelovanja ljudski život kakav poznajemo ne bi bio moguć. Vagusno djelovanje određuje taj odnos svojim jačim ili slabijim utjecajem, tako da porast parasimpatičke

dominacije u omjeru definira i modalitete simpatičke aktivnosti, kao i modalitet rada cijelog AŽS-a (Ji i sur., 2022). Promjene u AŽS-u promatrane kroz varijabilnost srčanog ritma, kao indikatora simpato-vagalnog balansa, pokazale su značajne učinke. Svi markeri parasimpatičkog utjecaja pokazali su povećanje vagusnog tonusa, brži ulazak u stanje oporavka i kvalitetniju regeneraciju. Varijable **NNmean**, **Frekvencija srca**, **amplituda i brzina respiracije** i **BVP** kao mogući interni faktori utjecaja na HRV ostali su u okvirima statistički neznačajne promjene što je stvorilo uvjete za tumačenje čistog utjecaja ZVT na autonomnu regulaciju. **HRVamp**, **NNmin**, **NNmax**, **SDNN**, **RMSSD**, **NN50**, **pNN50**, **HF** i **%HF** u interakciji vrijeme/intervencija pokazali značajne pozitivne razlike uz upotrebu ZVT. Dakle dobiveni rezultati pokazuju značajan pozitivan utjecaj ZVT-a na oporavak vagusnog tonusa nakon intenzivne sportske aktivnosti. Osim navedenih biomarkera AŽS-a, dodatno su mjereni električna provodljivost kože, temperatura na površini kože i koherencija srčano-respiratornog sustava (navedeno u dijelu Mjerene varijable). Ove varijable nisu bile u originalnom dizajnu i njihovo mjerenje bilo je samo informativne prirode, a provedeno je jer su okolnosti to dopuštale. Njihova značajnost nije potvrđena iz već opisanih specifičnih razloga, što je bilo i očekivano. Vrijednosti ovih varijabli nisu relevantni pokazatelji stanja AŽS-a u prezentiranim uvjetima mjerenja. Na temelju navedenih činjenica, relevantnih referentnih istraživanja i dobivenih rezultata, može se pouzdano zaključiti da su prva i druga hipoteza u potpunosti potvrđene. Mjerenje moždane alfa aktivnosti i omjera alfa/theta moždanih valova provedeno je također na svih 24 Ispitanika u potpunosti u skladu s originalnim dizajnom i smjericama istraživanja. Utjecaj parametara CŽS-a nije pouzdan pokazatelj oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga, jer se moždana aktivnost normalizira u prekratkom vremenskom intervalu nakon fizičke aktivnosti, da bi utjecaj ZVT-a mogao biti verificiran (opisano u Uvodu i Raspravi). Slijedom navedenog, iako su alfa aktivnost i alfa/theta omjer pokazali izvjesna odstupanja, ona nisu bila statistički značajna. Isto tako, nije moguće potvrditi da su primijećena odstupanja direktno povezana s provedenim intenzivnim treningom. Stoga, iako irelevantno za procjenu fiziološkog oporavka, istražen je utjecaj ZVT-a na CŽS i dobiveni rezultati su pokazali da u prezentiranom kontekstu ne postoji značajan utjecaj ove terapije na CŽS aktivnost. Nužno je naglasiti kako to ne znači da ZVT ne utječe na aktivnost CŽS-a i moždane valove. Dobiveni nalazi reflektiraju rezultate samo ovog konkretnog protokola. Nastavno, originalnim dizajnom istraživanja određeni, a zatim su izmjereni, obrađeni i prezentirani kvalitativni rezultati parametara subjektivnog dojma oporavka i smanjenja umora nakon intenzivnog sportskog treninga na svih 24 Ispitanika u protokolima sa i bez ZVT (opisanih u Metodama). Mjerenja su obavljena SEES skalom i

Upitnikom subjektivnog dojma. Kvalitativni rezultati dodatno su proširili uvid u doživljeni oporavak te, pogotovo opis subjektivnog dojma, potvrdili nalaze dobivene kvantitativnim mjerenjima. Ispitanici su iskazali pozitivno iznenađenje doživljenim tretmanom i bez izuzetka potvrdili učinkovitost metode. Naime, nakon oporavka bez ZVT većina ispitanika nije bila voljna niti razmišljati o ponavljanju istog protokola treninga čak i s odmakom od 24 sata. Nasuprot tome, uz upotrebu ZVT-a svi ispitanici, bez izuzetka, prijavili su smanjenje bolova u mišićima, umora, iscrpljenosti i psihološkog distresa, te su izrazili osjećaj za mogućnost ponavljanja istog treninga već 60 minuta nakon završetka prvog. Takvi nalazi nadišli su i najoptimističnija očekivanja. Radi boljeg uvida djelomično sažete izvorne odgovore ispitanika moguće je dobiti na upit autoru. Treća hipoteza glasila je: Zvučno-vibracijska terapija značajno doprinosi poboljšanju brzine i kvalitete oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga. Prikupljeni, sistematizirani, opisani i analizirani rezultati kao i potvrđene prve dvije hipoteze, u skladu sa zadanim Ciljem a temeljeni na dosadašnjim relevantnim istraživanjima, doveli su do ključnog dijela disertacije i glavnog zaključka. **Kvantitativni i kvalitativni rezultati dobiveni ovim istraživanjem potvrđuju da zvučno-vibracijska terapija, u prezentiranom dizajnu istraživanja, značajno pozitivno utječe na parametre AŽS-a te značajno doprinosi poboljšanju brzine i kvalitete oporavka nakon intenzivnog sportskog treninga.** Ovim zaključkom potvrđena je i treća hipoteza istraživanja. Prezentirani rezultati ukazuju kako postoji značajan potencijal za nastavak istraživanju ove, ali i drugih metoda oporavka, radi unaprjeđenja shvaćanja trenažnog procesa i razvoja kineziološke znanosti u cijelosti. Daljnja istraživanja svakako treba proširiti mjerenjem drugačijih varijabli, širim spektrom mjernih uređaja te osmišljavanjem protokola koji će proširiti dosadašnje spoznaje iz prezentiranog područja. Teško je dovoljno naglasiti važnost istraživanja procesa oporavka u sportu s ciljem stjecanja novih spoznaja i njegove praktične primjene u modernom sportu. Sve učestalije i kod profesionalnih sportaša, a pogotovo kod amatera, sportski naponi nisu izdvojeni od drugih životnih okolnosti, što oporavak čini još kompleksnijom i važnijom temom. Ovaj znanstveni rad pokazao je da se na parametre oporavka može utjecati i da je moguće stvoriti unutarnje uvjete u kojima će tjelesni sustavi biti u stanju brže, bolje, dublje i kvalitetnije odraditi procese regeneracije. Kao što je moguće stvoriti željene uvjete na koje će se tijelo uslijed trenažne aktivnosti adaptirati, tako je iz ovog istraživanja vidljivo kako je također moguće stvoriti okolnosti koje će željenu adaptaciju učiniti bržom, usmjerenijom i prilagođenijom uvjetima u kojima se trenažni proces odvija. Za kraj, nužno je shvatiti oporavak kao dio trenažnog procesa te ga početi percipirati, proučavati i u praksi primjenjivati na taj način.

POPIS LITERATURE

1. Abhang, P. A., Gawali, B. W., i Mehrotra, S. C. (2016). **Technological basics of EEG recording and operation of apparatus.** *Elsevier eBooks* (pp. 19–50). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804490-2.00002-6>
2. Adjei, T., von Rosenberg, W., Nakamura, T., Chanwimalueang, T., i Mandic, D. P. (2019). **The ClassA Framework: HRV Based Assessment of SNS and PNS Dynamics Without LF-HF Controversies.** *Frontiers in Physiology*, 10, 505. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00505>
3. Afonso, J., Clemente, F. M., Nakamura, F. Y., Morouço, P., Sarmiento, H., Inman, R. A., i Ramirez-Campillo, R. (2021). **The effectiveness of post-exercise stretching in Short-Term and Delayed Recovery of strength, range of motion and Delayed onset muscle Soreness: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials.** *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.67758>
4. Agnati, L. F., Guidolin, D., Cervetto C., Maura, G., i Marcoli, M. (2023). **Brain Structure and Function: Insights from Chemical Neuroanatomy.** *Life*, 13(4), 940–940. <https://doi.org/10.3390/life13040940>
5. Ahokas, E. K., Ihalainen, J., Hanstock, H. G., Savolainen, E., i Kyröläinen, H. (2023). **A post-exercise infrared sauna session improves recovery of neuromuscular performance and muscle soreness after resistance exercise training.** *Biology of Sport*, 40(3), 681–689. <https://doi.org/10.5114/biol sport.2023.119289>
6. Allen, J. (2007). **Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement.** *Physiological Measurement*, 28(3), R1–R39. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/28/3/r01>
7. Amann, M., Venturelli, M., Ives, S. J., McDaniel, J., Layec, G., Rossman, M. J., i Richardson, R. S. (2013). **Peripheral fatigue limits endurance exercise via a sensory feedback-mediated reduction in spinal motoneuronal output.** *Journal of Applied Physiology*, 115(3), 355–364. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00049.2013>
8. Amano, M., Kanda, T., Ue, H., i Moritani, T. (2001). **Exercise training and autonomic nervous system activity in obese individuals,** *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8), 1287–1291. <https://doi.org/10.1097/00005768-200108000-00007>
9. American Heart Association. (n.d.). **Tachycardia: Fast heart rate.** Heart.org. <https://www.heart.org/en/health-topics/arrhythmia/about-arrhythmia/tachycardia--fast-heart-rate> (24.06.2024)

10. Anderson, H., Raastad, T., Nilsson, J., Paulsen, G., Garthe, I., i Kadi, F., (2008). **Neuromuscular Fatigue and Recovery in Elite Female Soccer**. *Medicine i Science in Sports i Exercise*, 40(2), 372–380. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815b8497>
11. Anselm Ting Su, Xavier, G., i Jew Win Kuan. (2023). **The measurement of mental fatigue following an overnight on-call duty among doctors using electroencephalogram**. *PLOS ONE*, 18(7), e0287999–e0287999. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287999>
12. Antić, S., Galinović, I., Lovrenčić-Huzjan, A., Vuković, V., Jurašić, M. i Demarin, V. (2008). **Music as an Auditory Stimulus in Stroke Patients**. *Collegium antropologicum*, 32 - Supplement 1 (1), 19-23. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/24470>
13. Antić, S., Morović, S., Kes, V. B., Zavoreo, I., Jurašić, M. J., i Demarin, V. (2012). **Enhancement of stroke recovery by music**. *Periodicum Biologorum*, 114(3), 397–401. <https://hrcak.srce.hr/96703>
14. Arai, Y., Saul, J. P., Albrecht, P., Hartley, L. H., Lilly, L. S., Cohen, R. J., i Colucci, W. S. (1989). **Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise**. *American Journal of Physiology-heart and Circulatory Physiology*, 256(1), H132–H141. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1989.256.1.h132>
15. Aubert, A., Seps, B., i Beckers, F. (2003). **Heart rate variability in athletes**. *Sports Medicine*, 33(12), 889–919. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
16. Avram, R., Tison, G. H., Aschbacher, K., Kuhar, P., Vittinghoff, E., Butzner, M., Runge, R., Wu, N., Pletcher, M. J., Marcus, G. M., i Olgin, J. (2019). **Real-world heart rate norms in the Health eHeart study**. *Npj Digital Medicine*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0134-9>
17. Baek, H. J., Cho, C.-H., Cho, J., i Woo, J.-M. (2015). **Reliability of Ultra-Short-Term Analysis as a Surrogate of Standard 5-Min Analysis of Heart Rate Variability**. *Telemedicine and E-Health*, 21(5), 404–414. <https://doi.org/10.1089/tmj.2014.0104>
18. Bailey, S. P., Hall, E. E., Folger, S. E., i Miller, P. C. (2008). **Changes in EEG during graded exercise on a recumbent cycle ergometer**. *Journal of sports science i medicine*, 7(4), 505–511 PMID: 24149958; PMCID: PMC3761919. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3761919/>
19. Bailón, R., Laguna, P., Mainardi, L., i Sörnmo, L. (2007). **Analysis of heart rate variability using Time-Varying Frequency Bands based on respiratory frequency**. Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1109/iembs.2007.4353891>

20. Balcıoğlu, A. S., Çelik, E., Aksu, E., i Aykan, A. Ç. (2022). **Impact of Sodium-Glucose Cotransporter-2 Inhibitors on Sympathetic Nervous System Activity Detected by Sympathetic Activity Index and LF/HF Ratio in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus.** *Turk Kardiyoloji Dernegi Arsivi: Turk Kardiyoloji Derneginin Yayin Organidir*, 50(6), 415–421. <https://doi.org/10.5543/tkda.2022.22403>
21. Ballmann, C. G. (2021). **The influence of music preference on exercise responses and Performance: a review.** *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 6(2), 33. <https://doi.org/10.3390/jfmk6020033>
22. Bartel, L., i Mosabbir, A. (2021). **Possible Mechanisms for the Effects of Sound Vibration on Human Health.** *Healthcare*, 9(5), 597. <https://doi.org/10.3390/healthcare9050597>
23. Bazanova, Olga i Aftanas, Lyubomir. (2010). **Individual EEG Alpha Activity Analysis for Enhancement Neurofeedback Efficiency: Two Case Studies.** *Journal of Neurotherapy*. 14(3): 244-253. <https://doi.org/10.1080/10874208.2010.501517>
24. Beckers, F., Verheyden, B., i Aubert, A. (2006). **Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population.** *American Journal of Physiology-heart and Circulatory Physiology*, 290(6), H2560–H2570. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00903.2005>
25. Bendayan, S. (2023). **The healing power of music: a promising new avenue for cardiovascular health.** *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 10. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2023.1277055>
26. Ben-Tal, A., Shamailov, S. S., i Paton, J. F. R. (2012). **Evaluating the physiological significance of respiratory sinus arrhythmia: looking beyond ventilation-perfusion efficiency.** *The Journal of Physiology*, 590(8), 1989–2008. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.222422>
27. Berntson, G. G., i Cacioppo, J. T. (1999). **Heart Rate Variability: A Neuroscientific Perspective for Further Studies** *Cardiac Electrophysiology Review*, 3(4), 279–282. <https://doi.org/10.1023/a:1009920002142>
28. Berntson, G. G., Bigger, J. T., Jr, Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H., i van der Molen, M. W. (1997). **Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats.** *Psychophysiology*, 34(6), 623–648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>

29. Berntson, G.G., Cacioppo, J.T. (1999). **Heart Rate Variability: A Neuroscientific Perspective for Further Studies.** *Card Electrophysiol Rev* 3, 279–282
<https://doi.org/10.1023/A:1009920002142>
30. Bidin, L., Pigaiani, L., Casini, M., Seghini, P., i Cavanna, L. (2016). **Feasibility of a trial with Tibetan Singing Bowls, and suggested benefits in metastatic cancer patients. A pilot study in an Italian Oncology Unit.** *European Journal of Integrative Medicine*, 8(5), 747–755. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2016.06.003>
31. Bieligmeyer, S., Helmert, E., Hautzinger, M., i Vagedes, J. (2018). **Feeling the sound – short-term effect of a vibroacoustic music intervention on well-being and subjectively assessed warmth distribution in cancer patients—A randomized controlled trial.** *Complementary Therapies in Medicine*, 40, 171–178.
<https://doi.org/10.1016/j.ctim.2018.03.002>
32. Billman, G. E., (2013). **The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance.** *Frontiers in Physiology*, 4:26.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00026>
33. Billman, G. E., Huikuri, H. V., Sacha, J., i Trimmel, K. (2015). **An introduction to heart rate variability: methodological considerations and clinical applications.** *Frontiers in Physiology*, 6:55. <https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00055>
34. Bishop, P. A., Jones, E. J., i Woods, A. K.. (2008). **Recovery from training: a brief review: brief review.** 22(3). <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E31816EB518>
35. Bishop, D. T., Wright, M. J., i Karageorghis, C. I. (2013). **Tempo and intensity of pre-task music modulate neural activity during reactive task performance.** *Psychology of Music*, 42(5), 714–727. <https://doi.org/10.1177/0305735613490595>
36. Blajvaz, B. (2010), ment: Dr Klisurić D. **Fizičko-matematičke metode za analizu varijabilnosti srčane frekvencije**, diplomski rad, Univerzitet u Novom Sadu PMF, department za fiziku. [https://www.df.uns.ac.rs/wp-content/uploads/publikacije/branslava_blajvaz - diplomski rad \(d-575\).pdf](https://www.df.uns.ac.rs/wp-content/uploads/publikacije/branslava_blajvaz_-_diplomski_rad_(d-575).pdf)
37. Boender, J. (2011). **Efficient Computation of Dominance in Component Systems (Short Paper).** Software Engineering and Formal Methods. SEFM, Lecture Notes in Computer Science, vol 7041, 399–406.https://doi.org/10.1007/978-3-642-24690-6_27
38. Boerio, D., Jubeau, M., Zory, R., i Maffiuletti, N. A. (2005). **Central and peripheral fatigue after electrostimulation-induced resistance exercise.** *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 973–978. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15947722/>

39. Bonaz, B., Sinniger, V., i Pellissier, S. (2017). *The Vagus Nerve in the Neuro-Immune Axis: Implications in the Pathology of the Gastrointestinal Tract*. *Frontiers in Immunology*, 8, 1452, <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01452>
40. Borjigid E., (2018). *The shamanic healing power of the drum-dream*, anthropology PhD, Xiamen University, student n. 28820170155951, https://www.researchgate.net/publication/327020515_The_shamanic_healing_power_of_the_drum (12.01.2024)
41. Botinčan, M., Lapaine, D., Markulin, R., i Žgaljić, A. (2004). *Vibracije mehaničkih sustava*. *Math.e*, <https://hrcak.srce.hr/clanak/9434>
42. Boyd-Brewer, C. (2003). *Vibroacoustic Therapy: Sound Vibrations in Medicine*. *Alternative and Complementary Therapies*, 9(5), 257–263. <https://doi.org/10.1089/107628003322490706>
43. Boyd-Brewer, C., i McCaffrey, R. (2004). *Vibroacoustic Sound Therapy Improves Pain Management and More*. *Holistic Nursing Practice*, 18(3), 111–118. <https://doi.org/10.1097/00004650-200405000-00002>
44. Braun-Trocchio, R., Graybeal, A. J., Kreutzer, A., Warfield, E., Renteria, J., Harrison, K., Williams, A., Moss, K., i Shah, M. (2022). *Recovery strategies in endurance athletes*. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 7(1), 22. <https://doi.org/10.3390/jfmk7010022>
45. Bréchet, L., i Michel, C. M. (2022). *EEG Microstates in Altered States of Consciousness*. *Frontiers in psychology*, 13, 856697. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.856697>
46. Breit, S., Kupferberg, A., Rogler, G., i Hasler, G. (2018). *Vagus Nerve as Modulator of the Brain–Gut Axis in Psychiatric and Inflammatory Disorders*. *Frontiers in Psychiatry*, 9(44). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00044>
47. Brewer, J. F. (1998). *Healing sounds*. *Complementary Therapies in Nursing and Midwifery*, 4(1), 7–12. [https://doi.org/10.1016/s1353-6117\(98\)80006-1](https://doi.org/10.1016/s1353-6117(98)80006-1)
48. Brnjas-Kraljević J., Krilov D. (2020), *Fizika za studente medicine*, Stručna Knjižara. <https://strucnaknjizara.com/en/proizvod/fizika-za-studente-medicine-jasminka-brnjas-kraljevicdubravka-krilov/>
49. Buchheit, M., Laursen, P. B., i Ahmaidi, S. (2007). *Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise*. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 293(1), H133–H141. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00062.2007>

50. Buchheit, M., Millet, G. P., Parisy, A., Pourchez, S., Laursen, P. B., i Ahmaidi, S. (2008). **Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents.** *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(2), 362–371. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31815aa2ee>
51. Calvo, Mikel i Álvarez-Sánchez, José i Ferrández, Jose i Fernandez, Eduardo. (2020). Tesis Doctoral 2020 **Emotional human-robot interaction using physiological signals.** doi: 10.13140/RG.2.2.21685.70881 http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:ED-Pg-SisInt-Mval/VAL_CALVO_MIKEL_Tesis.pdf
52. Campbell, E. A., Hynynen, J., i Ala-Ruona, E. (2017). **Vibroacoustic treatment for chronic pain and mood disorders in a specialized healthcare setting.** *Music and Medicine*, 9(3), 187. <https://doi.org/10.47513/mmd.v9i3.540>
53. Campbell, E. M., Hynynen, J., Burger, B., i Ala-Ruona, E. (2019). **Exploring the use of Vibroacoustic treatment for managing chronic pain and comorbid mood disorders: A mixed methods study.** *Nordic Journal of Music Therapy*, 28(4), 291–314. <https://doi.org/10.1080/08098131.2019.1604565>
54. Casale, J., i Gupta, G. (2020). **Physiology, Vestibular System.** PubMed; StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532978/>
55. Casciaro, F., Laterza, V., Conte, S., Pieralice, M., Federici, A., Todarello, O., Orsucci, F., i Conte, E. (2013). **Alpha-rhythm stimulation using brain entrainment enhances heart rate variability in subjects with reduced HRV.** *World Journal of Neuroscience*, 03(04), 213–220. <https://doi.org/10.4236/wjns.2013.34028>
56. Cechetto, D. F., i Topolovec, J. C. (2002). **Cerebral Cortex** (V. S. Ramachandran, Ed.) Encyclopedia of the Human Brain, Pages 663-679. ScienceDirect; Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B012227210200087X>
57. Celka, P., Niclas Granqvist, Schwabl, H., i Edwards, S. D. (2020). **Development and evaluation of a cardiac coherence index for sleep analysis.** *Journal of Psychology in Africa*, 30(1), 44–52. <https://doi.org/10.1080/14330237.2019.1689460>
58. Chang, Y.-K., Chu, C.-H., Wang, C.-C., Song, T.-F., i Wei, G.-X. (2014). **Effect of acute exercise and cardiovascular fitness on cognitive function: An event-related cortical desynchronization study.** *Psychophysiology*, 52(3), 342–351. <https://doi.org/10.1111/psyp.12364>
59. Chao, S., Wong, F., Lam, H.-L. i Vai, M. I. (2011). **Blind biosignal classification framework based on DTW algorithm.** *ICMLC 4* (p./pp. 1684-1689), IEEE. <https://doi.org/10.1109/icmlc.2011.6017023>

60. Chapman, S. B., Aslan, S., Spence, J. S., DeFina, L. F., Keebler, M., Didehbani, N., i Lu, H.. (2013). **Shorter term aerobic exercise improves brain, cognition, and cardiovascular fitness in aging..** 5. <https://doi.org/10.3389/FNAGI.2013.00075>
61. Chen, Y., Zhuang, J., Li, B., Zhang, Y., i Zheng, X. (2023). **Remote Blood Pressure Estimation via the Spatiotemporal Mapping of Facial Videos.** *Sensors*, 23(6), 2963–2963. <https://doi.org/10.3390/s23062963>
62. Cheng, J., Xu, Y., Song, R., Liu, Y., Li, C., i Chen, X. (2021). **Prediction of arterial blood pressure waveforms from photoplethysmogram signals via fully convolutional neural networks.** *Computers in Biology and Medicine*, 138, 104877. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2021.104877>
63. Chhabra, S., Gupta, M., Ramaswamy, S., Dash, D. J., Bansal, V., i Deepak, K. K. (2014). **Cardiac sympathetic dominance and systemic inflammation in COPD.** *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 12(5), 552–559. <https://doi.org/10.3109/15412555.2014.974743>
64. **Christianto, V., Susilo, K., i Smarandache, F. (2020). Roles of Cymatics i Sound Therapy in Spirituality Consciousness.** *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/343863156_Roles_of_Cymatics_Sound_Therapy_in_Spirituality_Consciousness (19.06.2024)
65. Christie, S., Di Fronso, S., Bertollo, M., i Werthner, P. (2017). **Individual alpha peak frequency in ice hockey shooting performance.** *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00762>
66. Ciria, L. F., Perakakis, P., Luque-Casado, A., i Sanabria, D. (2018). **Physical exercise increases overall brain oscillatory activity but does not influence inhibitory control in young adults.** *NeuroImage*, 181, 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.07.009>
67. Clark, C. R., Veltmeyer, M. D., Hamilton, R., Simms, E., Paul, R., Hermens, D. F., i Gordon, E. (2004). **Spontaneous alpha peak frequency predicts working memory performance across the age span.** *International Journal of Psychophysiology*, 53(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2003.12.011>
68. **Coherence - HeartMath Institute** (2019). Chapter 04, HeartMath Institute;. <https://www.heartmath.org/research/science-of-the-heart/coherence/>
69. Consorti, A., Di Marco, I., i Sansevero, G. (2021). **Physical Exercise Modulates Brain Physiology Through a Network of Long- and Short-Range Cellular Interactions.** *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2021.710303>

70. Crabbe, J. B., i Dishman, R. K. (2004). **Brain electrocortical activity during and after exercise: A quantitative synthesis.** *Psychophysiology*, 41(4), 563–574. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2004.00176.x>
71. Craig, A., Tran, Y., Wijesuriya, N., iamp; Nguyen, H. T.. (2012). **Regional brain wave activity changes associated with fatigue.** *Psychophysiology*, 49(4), 574–582 <https://doi.org/10.1111/J.1469 8986.2011.01329.X>
72. Cuspidi, C., Tadic, M., i Sala, C. (2015). **A New Electrocardiographic Marker of Hypertensive Cardiac Damage.** *The Journal of Clinical Hypertension*, 17(6), 450. <https://doi.org/10.1111/jch.12520>
73. Daly, B. P., Eichen, D. M., Bailer, B., Brown, R. T., i Buchanan, C. L. (2012). **Central nervous system.** *Encyclopedia of Human Behavior* (Second Edition, pp. 454–459). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375000-6.00084-7>
74. Danho, S., Schoellhorn, W., i Aclan, M. (2019). **Innovative technical implementation of the Schumann resonances and its influence on organisms and biological cells.** *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 564(1), 012081. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/564/1/012081>
75. Davis, H. L., Alabed, S., i Chico, T. J. A. (2020). **Effect of sports massage on performance and recovery: a systematic review and meta-analysis.** *BMJ Open Sport i Exercise Medicine*, 6(1), e000614. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2019-000614>
76. Debeneditis, G., Cigada, M., Bianchi, A., Signorini, M. G., i Cerutti, S. (1994). **Autonomic Changes During Hypnosis: A Heart Rate Variability Power Spectrum Analysis as a Marker of Sympatho-Vagal Balance.** *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, 42(2), 140–152. <https://doi.org/10.1080/00207149408409347>
77. Delmastro, F., Martino, F. D., i Dolciotti, C. (2018). **Physiological Impact of Vibro-Acoustic Therapy on Stress and Emotions through Wearable Sensors.** *IEEE Xplore*, pp. 621-626 <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2018.8480170>
78. De Oliveira Ottone, V., De Castro Magalhães, F., De Paula, F., Avelar, N. C. P., Aguiar, P. F., Da Matta Sampaio, P. F., Duarte, T. C., Costa, K. B., Araújo, T. L., Coimbra, C. C., Nakamura, F. Y., Amorim, F. T., i Rocha-Vieira, E. (2014). **The effect of different water immersion temperatures on Post-Exercise Parasympathetic reactivation.** *PloS One*, 9(12), e113730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113730>

79. Dong J. G. (2016). **The role of heart rate variability in sports physiology.** *Experimental and therapeutic medicine*, 11(5), 1531–1536. <https://doi.org/10.3892/etm.2016.3104>
80. Dupuy, A., Birat, A., Maurelli, O., Garnier, Y. M., Blazeovich, A. J., Rance, M., i Ratel, S. (2021). **Post-exercise heart rate recovery and parasympathetic reactivation are comparable between prepubertal boys and well-trained adult male endurance athletes.** *European Journal of Applied Physiology*, 122(2), 345–355. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04823-0>
81. Dupuy, O., Douzi, W., Theurot, D., Bosquet, L., i Dugué, B.. (2018). **An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis.** 9. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2018.00403>
82. Dykes, F. D., Ahmann, P. A., Baldzer, K., Carrigan, T. A., Kitney, R., i Giddens, D. P. (1986). **Breath Amplitude Modulation of Heart Rate Variability in Normal Full Term Neonates.** *Pediatric Research*, 20(4), 301–308. <https://doi.org/10.1203/00006450-198604000-00005>
83. Eckberg, D. L. (1983). **Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow.** *Journal of Applied Physiology*, 54(4), 961–966. <https://doi.org/10.1152/jappl.1983.54.4.961>
84. Eliakim, M., Bodner, E., Meckel, Y., Nemet, D., i Eliakim, A. (2013). **Effect of rhythm on the recovery from intense exercise.** *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(4), 1019–1024. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e318260b829>
85. Esco, M. R., i Flatt, A. A. (2014). **Ultra-short-term heart rate variability indexes at rest and post-exercise in athletes: evaluating the agreement with accepted recommendations.** *Journal of Sports Science i Medicine*, 13(3), 535–541. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4126289/>
86. Evans, W. J., i Lambert, C. P. (2007). **Physiological basis of fatigue.** *American Journal of Physical Medicine i Rehabilitation*, 86(1), S29–S46. <https://doi.org/10.1097/phm.0b013e31802ba53c>
87. Fatisson, J., Oswald, V., i Lalonde, F. (2016). **Influence Diagram of physiological and environmental factors affecting heart rate variability: An extended literature overview.** *Heart International*, 11(1), heartint.500023. <https://doi.org/10.5301/heartint.5000232>

88. Fleming, M., Ehsan, L., Moore, S. R., i Levin, D. E. (2020). **The enteric nervous system and its emerging role as a therapeutic target.** *Gastroenterology Research and Practice*, 2020, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2020/8024171>
89. Fo Kevin (2021). *Respiratory System*, BS2001: Physiology,10, <https://bookdown.org/jcog196013/BS2001/>
90. Freedman, R. R. (1991). **Physiological mechanisms of temperature biofeedback.** *Biofeedback and Self-Regulation*, 16(2), 95–115. <https://doi.org/10.1007/bf01000184>
91. Galan-Carracedo, J., Suarez-Segade, A., Guerra-Balic, M., i Oviedo, G. R. (2019). **The Dynamic and Correlation of Skin Temperature and Cardiorespiratory Fitness in Male Endurance Runners.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(16), 2869. <https://doi.org/10.3390/ijerph16162869>
92. Gandevia, S. C. (2001). **Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue.** *Physiological Reviews*, 81(4), 1725–1789. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725>
93. García-González, M. A., Vázquez-Seisdedos, C., i Pallàs-Areny, R. (2000). **Variations in breathing patterns increase low frequency contents in HRV spectra.** *Physiological Measurement*, 21(3), 417–423. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/21/3/307>
94. Garland, E. L., Hanley, A. W., Nakamura, Y., Barrett, J. W., Baker, A. K., Reese, S. E., Riquino, M. R., Froeliger, B., i Donaldson, G. W. (2022). **Mindfulness-Oriented Recovery Enhancement vs Supportive Group Therapy for Co-occurring Opioid Misuse and Chronic Pain in Primary Care: A Randomized Clinical Trial.** *JAMA Internal Medicine*, 182(4), 407–417. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2022.0033>
95. Gellhorn, E. (1957). **Autonomic Imbalance and the Hypthalamus: Implications for Physiology, Medicine, Psychology, and Neuropsychiatry**, (NED-New edition). University of Minnesota Press. <http://www.jstor.org/stable/10.5749/j.ctttm9s>
96. Giannakakis, G., Grigoriadis, D., Giannakaki, K., Simantiraki, O., Roniotis, A., i Tsiknakis, M. (2022). **Review on Psychological Stress Detection Using Biosignals.** *IEEE Transactions on Affective Computing*, 13(1), 440–460. <https://doi.org/10.1109/taffc.2019.2927337>
97. Gingras, B., Pohler, G., i Fitch, W. T. (2014). **Exploring Shamanic Journeying: Repetitive Drumming with Shamanic Instructions Induces Specific Subjective Experiences but No Larger Cortisol Decrease than Instrumental Meditation Music.** *PLoS ONE*, 9(7), e102103. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102103>

98. Giuliano, R. J., Karns, C. M., Bell, T. A., Petersen, S., Skowron, E. A., Neville, H. J., i Pakulak, E. (2018). **Parasympathetic and sympathetic activity are associated with individual differences in neural indices of selective attention in adults.** *Psychophysiology*, 55(8), e13079. <https://doi.org/10.1111/psyp.13079>
99. Goggins, E., Mitani, S., i Tanaka, S. (2022). **Clinical perspectives on vagus nerve stimulation: present and future.** *Clinical Science*, 136(9), 695–709. <https://doi.org/10.1042/cs20210507>
100. Goldberger A. L. (1991), **Is the Normal Heartbeat Chaotic or Homeostatic?** *News in physiological sciences : an international journal of physiology produced jointly by the International Union of Physiological Sciences and the American Physiological Society*, 6(2), 87–91. <https://doi.org/10.1152/physiologyonline.1991.6.2.87>
101. Goldberger, J. J., Le, F. K., Lahiri, M., Kannankeril, P. J., Ng, J., i Kadish, A. H. (2006). **Assessment of parasympathetic reactivation after exercise.** *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 290(6), H2446–H2452. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.01118.2005>
102. Goldsby, T. L., Goldsby, M. E., McWalters, M., i Mills, P. J. (2016). **Effects of Singing Bowl Sound Meditation on Mood, Tension, and Well-being: An Observational Study.** *Journal of Evidence-Based Complementary i Alternative Medicine*, 22(3), 401–406. <https://doi.org/10.1177/2156587216668109>
103. Goldstein, D. S., Benthó, O., Park, M.-Y., i Sharabi, Y. (2011). **Low-frequency power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes.** *Experimental Physiology*, 96(12), 1255–1261. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2010.056259>
104. Gopinathannair, R., Salgado, B. C., i Olshansky, B. (2018). **Pacing for vasovagal syncope.** *Arrhythmia i Electrophysiology Review*, 7(2), 95. <https://doi.org/10.15420/aer.2018.22.2>
105. Gramkow, M. H., Hasselbalch, S. G., Waldemar, G., i Frederiksen, K. S. (2020). **Resting State EEG in Exercise Intervention Studies: A Systematic Review of Effects and Methods.** *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00155>

106. Grandy, T. H., Werkle-Bergner, M., Chicherio, C., Lövdén, M., Schmiedek, F., i Lindenberger, U. (2013b). Individual alpha peak frequency is related to latent factors of general cognitive abilities. *NeuroImage*, 79, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.04.059>
107. Grandy, T. H., Werkle-Bergner, M., Chicherio, C., Schmiedek, F., Lövdén, M., i Lindenberger, U. (2013a). Peak individual alpha frequency qualifies as a stable neurophysiological trait marker in healthy younger and older adults. *Psychophysiology*, 50(6), 570–582. <https://doi.org/10.1111/psyp.12043>
108. Griffiths, M. J., Grainger, P., Cox, M. V., i Preece, A. (2005). Recent advances in EEG monitoring for general anaesthesia, altered states of consciousness and sports performance science (pp. 1–5). <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:2431730> (25.06.2024) DOI: [10.1049/ic:20050322](https://doi.org/10.1049/ic:20050322)
109. Grossman, P., i Taylor, E. W. (2007). Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: Relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions. *Biological Psychology*, 74(2), 263–285. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.11.014>
110. Gu, P., Zhang, L., Zheng, X., i Zhang, X. (2021). Effects of post-exercise recovery methods on exercise-induced hormones and blood fatigue factors: a systematic review and meta-analysis. *Annals of palliative medicine*, 10(1), 184–193. <https://doi.org/10.21037/apm-20-2409>
111. Guillén-Mandujano, A., Carrasco-Sosa, S., i Coello-Caballero, P. (2020). Frequency coupling and sensitivity spectral measures of the respiratory sinus arrhythmia system in response to increasing respiratory frequency. *Computing in Cardiology (CinC)* 47(1-4) <https://doi.org/10.22489/cinc.2020.026>
112. Gutmann, B., Mierau, A., Hülsdünker, T., Hildebrand, C., Przyklenk, A., Hollmann, W., i Strüder, H. K. (2015). Effects of physical exercise on individual resting State EEG alpha peak frequency. *Neural Plasticity*, 2015, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2015/717312>
113. Guzzetti, S., Piccaluga, E., Casati, R., Cerutti, S., Lombardi, F., Pagani, M., i Malliani, A. (1988). Sympathetic predominance an essential hypertension: a study employing spectral analysis of heart rate variability. *Journal of Hypertension*, 6(9), 711–717. <https://doi.org/10.1097/00004872-198809000-00004>

114. Haarmann, H., Folle, J., Nguyen, X. P., Herrmann, P., Heusser, K., Hasenfuß, G., Andreas, S., i Raupach, T. (2016). **Sympathetic Activation is Associated with Exercise Limitation in COPD**. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 13(5), 589–594. <https://doi.org/10.3109/15412555.2015.1136272>
115. Hall, J. E. (2020). **Guyton and hall textbook of medical physiology** (14th ed.). Elsevier, ISBN: 9780323639996, <https://www.us.elsevierhealth.com/guyton-hall-physiology-review-9780323639996.html> (05.02.2024)
116. Hallihan, C. L., i Siegle, G. J. (2022). **Effect of vibroacoustic stimulation on athletes recovering from exercise**. *European Journal of Applied Physiology*, 122(11), 2427–2435. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-05026-x>
117. Halson, S. L. (2014). **Sleep in elite athletes and nutritional interventions to enhance sleep**. *Sports Medicine*, 44(S1), 13–23. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0147-0>
118. Haltiwanger G.S. (2010), **The Science of Bioenergetic and Bioelectric Technologies: Cellular Mechanisms**, *Aging Therapeutics, American Academy of Anti-Aging Medicine*, 9, 19 https://www.researchgate.net/publication/257931001_The_Science_of_Bioenergetic_and_Bioelectric_Technologies_formatted (30.01.2024)
119. Hamdani, S. U., Zill-e-Huma, Zafar, S. W., Suleman, N., Um-ul-Baneen, Waqas, A., i Rahman, A. (2022). **Effectiveness of relaxation techniques “as an active ingredient of psychological interventions” to reduce distress, anxiety and depression in adolescents: a systematic review and meta-analysis**. *International Journal of Mental Health Systems*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s13033-022-00541-y>
120. Hammoud, S., Karam, R., Mourad, R., Saad, I., i Kurdi, M. (2018). **Stress and Heart Rate Variability during University Final Examination among Lebanese Students**. *Behavioral Sciences*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/bs9010003>
121. Hart, J. (2015). **Normal resting pulse rate ranges**. *Journal of Nursing Education and Practice*, 5(8). <https://doi.org/10.5430/jnep.v5n8p95>
122. Hayano, J., i Yuda, E. (2019). **Pitfalls of assessment of autonomic function by heart rate variability**. *Journal of Physiological Anthropology*, 38(1). <https://doi.org/10.1186/s40101-019-0193-2>
123. Heather, S. (2007). **What is sound healing?** *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/228550675_WHAT_IS_SOUND_HEALING 22.06.2024.

124. Henrique, L., Antunes, J., i Inácio, O. (2004). **The physics of tibetan singing bowls.** *Revista De Acústica*, 35(1), 33–39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=885751>
125. Hillman, C., Erickson, K., i Kramer, A.. (2008). **Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition.** *Nature Reviews. Neuroscience*, 9(1), 58–65. <https://doi.org/10.1038/NRN2298>
126. Hinterberger, T., i Walter, N. (2020). **Rhythmic Mechanical Body Stimulation Improves Physical and Mental Wellbeing and Alters States of Consciousness.** *American Journal of Biomedical Science i Research*, 9(1), 132. <https://biomedgrid.com/fulltext/volume9/rhythmic-mechanical-body-stimulation-improves-physical-and-mental-wellbeing-and-alters-states-of-consciousness.001368.php>
127. Hirata, T., Yano, K., Okui, T., Mitsuoka, T., i Hashiba, K. (1987). **Asystole with syncope following strenuous exercise in a man without organic heart disease.** *Journal of Electrocardiology*, 20(3), 280–283. [https://doi.org/10.1016/s0022-0736\(87\)80027-4](https://doi.org/10.1016/s0022-0736(87)80027-4)
128. Hooper, J. (2001). **An Introduction to Vibroacoustic Therapy and an Examination of its Place in Music Therapy Practice.** *British Journal of Music Therapy*, 15(2), 69-77. <https://doi.org/10.1177/135945750101500205>
129. Hottenrott, K., Hoos, O., i Esperer, H. D. (2006). **Heart rate variability and physical exercise. Current status,** *Herz*, 31(6), 544–552. <https://doi.org/10.1007/s00059-006-2855-1>
130. Houle, M. S., i Billman, G. E. (1999). **Low-frequency component of the heart rate variability spectrum: a poor marker of sympathetic activity.** *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 276(1), H215–H223. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.1999.276.1.h215>
131. Howland, R. H. (2014). **Vagus Nerve Stimulation.** *Current Behavioral Neuroscience Reports*, 1(2), 64–73. <https://doi.org/10.1007/s40473-014-0010-5>
132. Hoyer, D., Schmidt, A., Gustafson, K. M., Lobmaier, S. M., Lakhno, I., van Leeuwen, P., Cysarz, D., Preisl, H., i Schneider, U. (2019). **Heart rate variability categories of fluctuation amplitude and complexity: diagnostic markers of fetal development and its disturbances.** *Physiological Measurement*, 40(6), 064002. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab205f>

133. Humphries K. (2010), **Healing Sound: Contemporary Methods for Tibetan Singing Bowls**, Undergraduate Library Research Award Paper <http://digitalcommons.lmu.edu/ulra/awards/2010/2> (30.01.2024)
134. Ichinose, M., Nakabayashi, M., i Ono, Y. (2019). **Difference in the integrated effects of sympathetic vasoconstriction and local vasodilation in human skeletal muscle and skin microvasculature.** *Physiological Reports*, 7(7), e14070. <https://doi.org/10.14814/phy2.14070>
135. Inácio, Octávio i Henrique, Luís i Antunes, Jose. (2006). **The Dynamics of Tibetan Singing Bowls.** *Acta Acustica united with Acustica*, 92(3), 637-653. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:116146311>
136. Ingendoh R. M., Posny, E. S., i Heine, A. (2023). **Binaural beats to entrain the brain? A systematic review of the effects of binaural beat stimulation on brain oscillatory activity, and the implications for psychological research and intervention.** *PLoS ONE*, 18(5), e0286023–e0286023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286023>
137. Ishii, H., Niioka, T., Watanabe, H., i Izumi, H. (2007). **Inhibitory effects of excess sympathetic activity on parasympathetic vasodilation in the rat masseter muscle.** *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 293(2), R729–R736. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00866.2006>
138. Jain, S., McKusick, E., Ciccone, L., Sprengel, M., i Ritenbaugh, C. (2023). **Sound healing reduces generalized anxiety during the pandemic: A feasibility study.** *Complementary Therapies in Medicine*, 74, 102947. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2023.102947>
139. Jair Burboa, Felipe Godoy, María Soledad Riquelme, Eugenia Vivar, Maximiliano Barahona et al. (2018). **Ice Water Immersion as an Additional Method in Physiology Recovery in the Sport.** *International Physiology Journal*, 1(3):15-22. <https://doi.org/10.14302/issn.2578-8590.ipj-18-2465>
140. Jann, K., Koenig, T., Dierks, T., Boesch, C., i Federspiel, A. (2010). **Association of individual resting state EEG alpha frequency and cerebral blood flow.** *NeuroImage*, 51(1), 365–372. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.02.024>
141. Ji, N., Li, Y., Wei, J., Chen, F., Xu, L., Li, G., i Lin, W. (2022). **Autonomic modulation by low-intensity focused ultrasound stimulation of the vagus nerve.** *Journal of Neural Engineering*, 19(6), 066036. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aca8cd>

142. Jin, Y., O'Halloran, J. P., Plon, L., Sandman, C. A., i Potkin, S. G. (2006). **Alpha EEG predicts visual reaction time.** *International Journal of Neuroscience*, 116(9), 1035–1044. <https://doi.org/10.1080/00207450600553232>
143. Jing, L., i Xudong, W. (2008). **Evaluation on the effects of relaxing music on the recovery from aerobic exercise-induced fatigue.** *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 48(1), 102–106. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18212717/> (16.06.2024)
144. Kaikkonen, P., Hynynen, E., Mann, T., Rusko, H., i Nummela, A. (2011). **Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises.** *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 829–838. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2031-z>
145. Kaikkonen, P., Nummela, A., i Rusko, H. (2007). **Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises.** *European Journal of Applied Physiology*, 102(1), 79–86. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0559-8>
146. Kannankeril, P. J., Le, F. K., Kadish, A. H., i Goldberger, J. J. (2004). **Parasympathetic Effects on Heart Rate Recovery after Exercise.** *Journal of Investigative Medicine*, 52(6), 394–401. <https://doi.org/10.1136/jim-52-06-34>
147. Kantor, J., Vilímek, Z., Vítězník, M., Smrčka, P., Campbell, E. A., Bucharová, M., Grohmannová, J., Špinarová, G., Janíčková, K., Du, J., Li, J., Janátová, M., Regec, V., Krahulcová, K., i Kantorová, L. (2022). **Effect of low frequency sound vibration on acute stress response in university students—Pilot randomized controlled trial.** *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.980756>
148. Kantor, J., Campbell, E. A., Kantorová, L., Marečková, J., Regec, V., Karasová, K., Sedláčková, D., i Klugar, M. (2022). **Exploring vibroacoustic therapy in adults experiencing pain: a scoping review.** *BMJ Open*, 12(4), e046591. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-046591>
149. Karageorghis, C. I., i Priest, D. (2012). **Music in the exercise domain: a review and synthesis** (Part I). *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 5(1), 44–66. <https://doi.org/10.1080/1750984x.2011.631026>
150. Karthikeyan, P., Murugappan, M., i Yaacob, S. (2012). **Descriptive analysis of skin temperature variability of sympathetic nervous system activity in stress.** *Journal of Physical Therapy Science*, 24(12), 1341–1344. <https://doi.org/10.1589/jpts.24.1341>

151. Katušić, A., Mejaski-Bošnjak, V. (2011). **Effects of vibrotactile stimulation on the control of muscle tone and movement facilitation in children with cerebral injury.** *Collegium Antropologicum*, 35(1), 57–63. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21648312/>
152. Katyal, S., i Goldin, P. (2021). **Alpha and theta oscillations are inversely related to progressive levels of meditation depth.** *Neuroscience of consciousness*, 2021(1), niab042. <https://doi.org/10.1093/nc/niab042>
153. Kaul, S., Falco, A., i Anthes, K. (2019). **Measuring the Sympathetic Response to Intense Exercise in a Practical Setting.** *Proceedings of Machine Learning Research* 106:1-23, <https://www.semanticscholar.org/paper/Measuring-the-Sympathetic-Response-to-Intense-in-a-Kaul-Falco/eb9d619557491d38836dcadf6242fbf5978dac88>
154. Kellmann, M. (2010). **Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring.** *Scandinavian Journal of Medicine i Science in Sports*, 20(2), 95–102. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01192.x>
155. Kent, D. (2006). **The Effect of Music on the Human Body and Mind.** Scholars Crossing. Senior Honors Theses. 154. <https://digitalcommons.liberty.edu/honors/154/>
156. Kim, D. J., Kim, H., Kim, K., Kim, M.-J., i Jeon, H. J. (2023). **Association between anxiety and skin conductance according to the intensity of shaking of virtual reality images.** *Frontiers in Psychiatry*, 14, <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.1196767>
157. Kim, H.-G., Cheon, E.-J., Bai, D.-S., Lee, Y. H., i Koo, B.-H. (2018). **Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature.** *Psychiatry Investigation*, 15(3), 235–245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>
158. Kim, H., Kim, E. J. (2018). **Effects of Relaxation Therapy on Anxiety Disorders: A Systematic Review and Meta-analysis.** *Archives of Psychiatric Nursing*, 32(2), 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.apnu.2017.11.015>
159. Kim, J., Kim, M., Jang, M., i Lee, J. (2022). **The Effect of Juigong Meditation on the Theta to Alpha Ratio in the Temporoparietal and Anterior Frontal EEG Recordings.** *International journal of environmental research and public health*, 19(3), 1721. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031721>
160. Kinsella, S., i Tuckey, J. (2001). **Perioperative bradycardia and asystole: relationship to vasovagal syncope and the Bezold–Jarisch reflex.** *British Journal of Anaesthesia*, 86(6), 859–868. <https://doi.org/10.1093/bja/86.6.859>

161. Kiyono, K., Hayano, J., Watanabe, E., Yamamoto, Y. (2017). **Heart Rate Variability (HRV) and Sympathetic Nerve Activity**. *Clinical Assessment of the Autonomic Nervous System*. Springer, 147–161, https://doi.org/10.1007/978-4-431-56012-8_9
162. Klarić Z., (2016), **Varijabilnost srčanog ritma**, *Zbornik radova. Ljetne škole kineziologa RH 25*, Hrvatski kineziološki savez, 429-437
163. Klarić, Z.,(2017), **Utjecaj vibracija na ljudski organizam i implikacije u sportu** https://www.kif.unizg.hr/_download/repository/Utjecaj_vibracija_klaric.pptx, <https://slideplayer.com/slide/14153296/> (12.01.2024)
164. Kleiger, R. E., Stein, P. K., i Bigger, J. T. (2005). **Heart Rate Variability: Measurement and Clinical Utility**. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 10(1), 88–101. <https://doi.org/10.1111/j.1542-474x.2005.10101.x>
165. Kleiger, R. E., Stein, P. K., Bosner, M. S., i Rottman, J. N. (1992). **Time domain measurements of heart rate variability**. *Cardiology Clinics*, 10(3), 487–498. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1504980/>
166. Klimesch, W., Schimke, H., i Pfurtscheller, G. (1993). **Alpha frequency, cognitive load and memory performance**. *Brain Topography*, 5(3), 241–251. <https://doi.org/10.1007/bf01128991>
167. Kluger, D. S., i Groß J. (2021). **Respiration modulates oscillatory neural network activity at rest**. *PLOS Biology*, 19(11), e3001457–e3001457. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001457>
168. Koelsch, S. (2014). **Brain correlates of music-evoked emotions**. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(3), 170–180. <https://doi.org/10.1038/nrn3666>
169. Koike, Y., Hoshitani, M., Tabata, Y., Seki, K., Nishimura, R., i Kano, Y. (2012). **Effects of Vibroacoustic Therapy on Elderly Nursing Home Residents with Depression**. *Journal of Physical Therapy Science*, 24(3), 291–294. <https://doi.org/10.1589/jpts.24.291>
170. Kokkidou, M. (2022). **Music Definition and Music Education: many perspectives, many voices, many questions**. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/358143851_Music_Definition_and_Music_Education_many_perspectives_many_voices_many_questions/link/61f2b2aadafcdb25fd55c4f0/download (16.06.2024)

171. Kopańska, M., Ochojska, D., Dejniewicz-Velitchkov, A., i Banaś-Ząbczyk, A. (2022). **Quantitative Electroencephalography (QEEG) as an Innovative Diagnostic Tool in Mental Disorders**. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2465. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042465>
172. Korsak, A., Kellett, D. O., Aziz, Q., Anderson, C., D'Souza, A., Tinker, A., Ackland, G. L., i Gourine, A. V. (2023). **Immediate and sustained increases in the activity of vagal preganglionic neurons during exercise and after exercise training**. *Cardiovascular Research*, 119(13), 2329–2341. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvad115>
173. Kovačević D., Baniček I. (2015), **Muzikoterapija i njena učinkovitost kao sredstva komunikacije u rehabilitaciji neuroloških bolesti**, *Socijalna psihijatrija*, 43(1): 12-19, <https://www.google.com/url?sa=t&irct=j&iq=iesrc=sisource=webicd=ived=2ahUKEwirz oPZx4WEAxXthv0HHQKWAN8QFnoECA4QAQiurl=https%3A%2F%2Ftvpodravina.files.wordpress.com%2F2014%2F09%2Fglazbena-terapija-i-komunikacija1.pdf&usg=AOvVaw2jPsJAjoUnSqNLshG1Uok1iopi=89978449>
(30.01.2024)
174. Kubitz, K. A., i Mott, A. A. (1996). **EEG Power Spectral Densities during and after Cycle Ergometer Exercise**. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 67(1), 91–96. <https://doi.org/10.1080/02701367.1996.10607929>
175. Kučikienė, D., i Praninskienė, R. (2018). **The impact of music on the bioelectrical oscillations of the brain**. *Acta Medica Lituanica*, 25(2). <https://doi.org/10.6001/actamedica.v25i2.3763>
176. Kumar, P., Das, A. K., Prachita, i Halder, S. (2020). **Time-domain HRV Analysis of ECG Signal under Different Body Postures**. *Procedia Computer Science*, 167, 1705–1710. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.435>
177. Kushki, A., Fairley, J., Merja, S., King, G., i Chau, T. (2011). **Comparison of blood volume pulse and skin conductance responses to mental and affective stimuli at different anatomical sites**. *Physiological Measurement*, 32(10), 1529–1539. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/32/10/002>
178. Kuusela, T. (2012). **Methodological aspects of heart rate variability analysis**. *Heart Rate Variability (HRV) Signal Analysis*. (2013). p. 9–42 <https://doi.org/10.1201/b12756-4>
179. Kvam, M. H. (1997). **The Effect of Vibroacoustic Therapy**. *Physiotherapy*, 83(6), 290–295. [https://doi.org/10.1016/s0031-9406\(05\)66176-7](https://doi.org/10.1016/s0031-9406(05)66176-7)

180. Kyaga, S. (2015). **Biological Perspectives on Creativity**. *Creativity and Mental Illness*. https://doi.org/10.1057/9781137345813_5
181. Laborde, S., Wanders, J., Mosley, E., i Javelle, F. (2023). **Influence of physical post-exercise recovery techniques on vagally-mediated heart rate variability: A systematic review and meta-analysis**. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 44(1), 14–35. <https://doi.org/10.1111/cpf.12855>
182. Lanzilotti, C., Dumas, R., Grassi, M., i Schön, D. (2019). **Prolonged exposure to highly rhythmic music affects brain dynamics and perception**. *Neuropsychologia*, 129, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.04.011>
183. Larsen, P., Tzeng, Y., Sin, P., i Galletly, D. (2010). **Respiratory sinus arrhythmia in conscious humans during spontaneous respiration**. *Respiratory Physiology i Neurobiology*, 174(1–2), 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2010.04.021>
184. Laukka, P., i Quick, L. (2011). **Emotional and motivational uses of music in sports and exercise: A questionnaire study among athletes**. *Psychology of Music*, 41(2), 198–215. <https://doi.org/10.1177/0305735611422507>
185. Lee, E. J., Anselmo, M., i Keller-Ross, M. L. (2023). **Blood pressure regurespiratornormalation during exercise: is age central to the problem?** *The Journal of Physiology*, 601(14), 2755–2756. <https://doi.org/10.1113/JP284901>
186. Lenis, G., Kircher, M., Lázaro, J., Bailón, R., Gil, E., i Dössel, O. (2017). **Separating the effect of respiration on the heart rate variability using Granger’s causality and linear filtering**. *Biomedical Signal Processing and Control*, 31, 272–287. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2016.07.014>
187. Li, K., Weng, L., i Wang, X. (2021). **The State of Music Therapy Studies in the Past 20 Years: A Bibliometric Analysis**. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.697726>
188. Likert, R. (1932). **A technique for the measurement of attitudes**. *Archives of Psychology*, 22 (140), 5- 55. <https://psycnet.apa.org/record/1933-01885-001>
189. Liu, C., Li, Z., i Du, X. (2021). **The effect of musical stimulation in sports on sports fatigue of college students**. *Journal of Internet Technology*, 22(1), 187-195.). <https://jit.ndhu.edu.tw/article/download/2472/2488> (16.06.2024)
190. Liu, J., Huang, J., Li, Z., Zhao, Z., Zeren, Z., Shen, X., i Wang, Q. (2023). **Recent Advances and Challenges in Schumann Resonance Observations and Research**. *Remote Sensing*, 15(14), 3557 <https://doi.org/10.3390/rs15143557>

191. Ma, H. T., i Zhang, Y. T. (2006). **Spectral analysis of pulse transit time variability and its coherence with other cardiovascular variabilities**. *Conference proceeding, IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference*, 6442–6445. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2006.259365>
192. Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J., i Schwartz, P. J. (1996). **Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use**. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>
193. Mann, A.S., Barreto, A. (2009). **Exercise Evaluation from Blood Volume Pulse Signals Analyzed by Parametric Auto-Regressive Modeling**. In: McGoron, A.J., Li, CZ., Lin, WC. (eds) 25th Southern Biomedical Engineering Conference, Miami. IFMBE Proceedings, vol 24. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01697-4_110
194. Mansfield, N.J. (2004). **Human Response to Vibration** (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b12481>
195. Manzoni, G. M., Pagnini, F., Castelnuovo, G., i Molinari, E. (2008). **Relaxation training for anxiety: a ten-years systematic review with meta-analysis**. *BMC Psychiatry*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/1471-244x-8-41>
196. Martindale, C., i Hasenpus, N. (1978). **EEG differences as a function of creativity, stage of the creative process, and effort to be original**. *Biological Psychology*, 6(3), 157–167. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(78\)90018-2](https://doi.org/10.1016/0301-0511(78)90018-2)
197. Martínez-Aranda, L. M., Sanz-Matesanz, M., García-Mantilla, E. D., i González-Fernández, F. T. (2024). **Effects of Self-Myofascial release on Athletes' Physical performance: A Systematic review**. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 9(1), 20. <https://doi.org/10.3390/jfmk9010020>
198. Martinmäki, K., i Rusko, H. (2007). **Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise**. *European Journal of Applied Physiology*, 102(3), 353–360. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0594-5>
199. Massaro, S., i Pecchia, L. (2016). **Heart Rate Variability (HRV) Analysis: A Methodology for Organizational Neuroscience**. *Organizational Research Methods*, 22(1), 354–393. <https://doi.org/10.1177/1094428116681072>
200. Mason, J. W., Ramseth, D. J., Chanter, D. O., Moon, T. E., Goodman, D. B., i Mendzelevski, B. (2007). **Electrocardiographic reference ranges derived from 79,743 ambulatory subjects**. *Journal of Electrocardiology*, 40(3), 228-234.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2006.09.003>

201. Matei, D., Luca, C., Onu, I., Paula, M., Iordan, D. A., i Buculei, I. (2022). **Effects of Exercise Training on the Autonomic Nervous System with a Focus on Anti-Inflammatory and Antioxidants Effects.** *Antioxidants*, 11(2), 350. <https://doi.org/10.3390/antiox11020350>
202. Mourot, L., Bouhaddi, M., Perrey, S., Cappelle, S., Henriot, M., Wolf, J., Rouillon, J., i Regnard, J. (2004). **Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis.** *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 24(1), 10–18. <https://doi.org/10.1046/j.1475-0961.2003.00523.x>
203. Maurer, R. L., Kumar, V. K., Woodside, L., i Pekala, R. J. (1997). **Phenomenological Experience in Response to Monotonous Drumming and Hypnotizability.** *American Journal of Clinical Hypnosis*, 40(2), 130–145. <https://doi.org/10.1080/00029157.1997.10403417>
204. McCorry, L. K. (2007). **Physiology of the Autonomic Nervous System.** *American Journal of Pharmaceutical Education*, 71(4), 78. <https://doi.org/10.5688/aj710478>
205. McCraty R. (2017). **New Frontiers in Heart Rate Variability and Social Coherence Research: Techniques, Technologies, and Implications for Improving Group Dynamics and Outcomes.** *Frontiers in public health*, 5, 267. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00267>
206. McCraty R. i Royall, S. (2015). **Science of the Heart**, Volume 2: Exploring the Role of the Heart in Human Performance. HeartMath. <https://www.amazon.com/Science-Heart-Exploring-Human-Performance/dp/1513606360> (22.06.2024)
207. McCraty, R., i Shaffer, F. (2015). **Heart rate variability: new perspectives on physiological mechanisms, assessment of self-regulatory capacity, and health risk.** *Global Advances in Health and Medicine*, 4(1), 46–61. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.073>
208. MeAuley, E., i Courneya, K. S. (1994). **The Subjective Exercise Experiences Scale (SEES): Development and Preliminary Validation.** *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 16(2), 163–177. <https://doi.org/10.1123/jsep.16.2.163>
209. Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A. C., Gleeson, M., Nieman, D. C., Raglin, J. S., Rietjens, G., Steinacker, J. M., i Urhausen, A.. (2013).). **Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM Medicine i Science in Sports i Exercise**, 45(1), 186–205. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318279a10a>

210. Meeusen, R., Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B., i Piacentini, M. F. (2006). **Central fatigue : The serotonin hypothesis and beyond.** *Sports Medicine*, 36(10), 881–909. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636100-00006>
211. Mettin, R., Rung, T., i Schnerr, G. H. (2022). **Shock waves as dominant mechanism for cavitation damage.** *Journal of Tribology*, 144(6), 062301. <https://doi.org/10.1115/1.4053859>
212. Michael, S., Jay, O., Graham, K. S., i Davis, G. M. (2017). **Longer exercise duration delays post-exercise recovery of cardiac parasympathetic but not sympathetic indices.** *European Journal of Applied Physiology*, 117(9), 1897–1906. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3673-2>
213. Mosabbir, A. (2021b). **Sound vibration on human health.** <https://encyclopedia.pub/entry/11026> 22.06.2024
214. [Morrow, J., Zhou, Z., Chen, Y., & Luo, J. \(2024\). Influence of microstructure on mass loss caused by acoustic and hydrodynamic cavitation. arXiv, https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.15182](https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.15182)
215. Mølgaard, H., Sørensen, K. E., i Bjerregaard, P. (1991). **Circadian variation and influence of risk factors on heart rate variability in healthy subjects.** *The American Journal of Cardiology*, 68(8), 777–784. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(91\)90653-3](https://doi.org/10.1016/0002-9149(91)90653-3)
216. Móra Á, Komka Z, Végh J, Farkas I, Kocsisné GS, Bosnyák E, Szmodis M, Ligetvári R, Csöndör É, Almási G, Oláh A, Kemper HCG, Tóth M, Ács P. (2022) **Comparison of the Cardiovascular Effects of Extreme Psychological and Physical Stress Tests in Male Soccer Players.** *Int J Environ Res Public Health*.19(2):715. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020715>
217. Muniyandi, M., i Soni, R. (2019). **Breath rate variability: A novel measure to study the meditation effects.** *International Journal of Yoga*, 12(1), 45. https://doi.org/10.4103/ijoy.ijoy_27_17
218. Naal-Ruiz, N. E., Alonso-Valerdi, L. M., i Ibarra-Zárate, D. I. (2023). **Neurophysiological and psychoacoustical changes after exposure to modified pink noise by frequency responses of headphones.** *Applied Acoustics*, 205, 109265. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109265>

219. Naal-Ruiz, N. E., Alonso-Valerdi, L. M., i Ibarra-Zárate, D. I. (2022). Frequency responses of headphones modulate alpha brain oscillations related to auditory processing. *Applied Acoustics*, 185, 108415. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108415>
220. Nakamura, Y., Yamamoto, Y., i Muraoka, I. (1993). Autonomic control of heart rate during physical exercise and fractal dimension of heart rate variability. *Journal of Applied Physiology*, 74(2), 875–881. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.2.875>
221. Narkiewicz, K., van de Borne, P., Montano, N., Hering, D., Kara, T., i Somers, V. K. (2006). Sympathetic Neural Outflow and Chemoreflex Sensitivity Are Related to Spontaneous Breathing Rate in Normal Men. *Hypertension*, 47(1), 51–55. <https://doi.org/10.1161/01.hyp.0000197613.47649.02>
222. Nexus 10, <https://www.mindmedia.com/en/products/nexus-10-mkii/> (30.01.2024)
223. Ng, S.-C., Raveendran, P., (2007). EEG Peak Alpha Frequency as an Indicator for Physical Fatigue. Springer EBooks, 11th Mediterranean Conference on Medical and Biomedical Engineering and Computing 2007 pp 517–520. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73044-6_132
224. Niedermeyer, E., Lopes da Silva F., (1999). *The Normal EEG of the Waking Adult*, Eds. Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields, 4th Edition, Williams and Wilkins, Baltimore MD, pp. 149-173. https://www.google.com/url?sa=t&irct=j&iq=iesrc=sisource=webicd=ived=2ahUKEwixq7P7wpmEAXUCgf0HHfWzBw4QFnoECBAQAQiurl=http%3A%2F%2Fwww.ccs.fau.edu%2F~bressler%2FEDU%2FEPHys%2FReferences%2FNiedermeyer_1999.pdf&u=sg=AOvVaw3-QUO1nfnyxExoVqKD0WsQiopi=89978449 (07.02.2024)
225. Nielsen, M. S. (2015). Sympathetic vasoconstriction takes an unexpected pannexin detour. *Science Signaling*, 8(364), fs4–fs4. <https://doi.org/10.1126/scisignal.aaa7312>
226. Nikula, R. (1991). Psychological correlates of nonspecific skin conductance responses. *Psychophysiology*, 28(1), 86–90. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1991.tb03392.x>
227. Noakes, T. D., Peltonen, J. E., Rusko, H. K. (2001). Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *The Journal of Experimental Biology*, 204(Pt 18), 3225–3234. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11581338/>

228. Nozdrachev, A. D., Shcherbatykh, Yu. V. (2001). **Modern methods of functional studies of the autonomic nervous system.** *Human Physiology*, 27(6), 732–737. <https://doi.org/10.1023/a:1012993430373>
229. Nunan, D., Sandercock, G. R. H., Brodie, D. A. (2010). **A Quantitative Systematic Review of Normal Values for Short-Term Heart Rate Variability in Healthy Adults.** *Pacing and Clinical Electrophysiology*, 33(11), 1407–1417. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
230. Nylocks K.M, Gilman T. L., Latsko, M. S., Jasnow A. M. i Coifman K. G. (2018). **Increased parasympathetic activity and ability to generate positive emotion: The influence of the BDNF Val66Met polymorphism on emotion flexibility.** *Motiv Emot*, 42(4), 586–601. <https://doi.org/10.1007/s11031-018-9679-1>
231. Oghenetega E. A., Roberson, R., Ii, J., i Chawla, S. (2022). **Sound Therapy: Vibratory Frequencies of Cells in Healthy and Disease States** USAT-Harvard Dataverse Project View project Metabolic Syndrome and Obesity View project. <https://doi.org/10.31080/eccmc.2022.05.00532>
232. Ogyu O, Bykov E, Litvichenko E Zeitschrift (2022), **Vibroacoustic impact effect of singing bowls over the cardiovascular system work**, *Gefäßmedizin*19 (1), 9-15, <https://www.kup.at/journals/inhalt/2037.html> (16.01.2024)
233. Ohashi, Y., Kamioka, M., i Matsuoka, K. (2001). **Relationship between Respiratory Movements and Energy Efficiency in the Post-Exercise Recovery Phase.** *Journal of the Japanese Physical Therapy Association*, 4(1), 7–11. <https://doi.org/10.1298/jjpta.4.7>
234. Oliveira, R., Leicht, A., Bishop, D., Barbero-Álvarez, J., i Nakamura, F. (2012). **Seasonal changes in physical performance and heart rate variability in high level futsal players.** *International Journal of Sports Medicine*, 34(05), 424–430. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1323720>
235. Olshansky, B., Sabbah, H. N., Hauptman, P. J., i Colucci, W. S. (2008). **Parasympathetic Nervous System and Heart Failure.** *Circulation*, 118(8), 863–871. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.107.760405>
236. Opthof, T. (2000). **The normal range and determinants of the intrinsic heart rate in man.** *Cardiovascular Research*, 45(1), 177–184. [https://doi.org/10.1016/S0008-6363\(99\)00322-3](https://doi.org/10.1016/S0008-6363(99)00322-3)

237. Ortiz, A., Bradler, K., Moorti, P., MacLean, S., Husain, M. I., Sanches, M., Goldstein, B. I., Alda, M., i Mulsant, B. H. (2022). **Increased sympathetic tone is associated with illness burden in bipolar disorder.** *Journal of Affective Disorders*, 297, 471–476. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.10.089>
238. Overmayer, R., Tavares, F., i Driller, M. W. (2018). **Acute Post-Exercise Recovery Strategies in Cycling: A Review.** *Journal of Science and Cycling*, 7(3), 11–44. <https://doi.org/10.28985/181231.jsc.04>
239. Oxenham, A. J. (2018). **How We Hear: the Perception and Neural Coding of Sound.** *Annual Review of Psychology*, 69(1), 27–50. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011635>
240. Özbek, Y., Fide, E., i Yener, G. (2021). **Resting-state EEG alpha/theta power ratio discriminates early-onset Alzheimer's disease from healthy controls.** *Clinical Neurophysiology*, 132(9), 2019–2031. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2021.05.012>
241. Peçanha, T., Bartels, R., Brito, L. C., Paula-Ribeiro, M., Oliveira, R. S., i Goldberger, J. J. (2017). **Methods of assessment of the post-exercise cardiac autonomic recovery: A methodological review.** *International Journal of Cardiology*, 227, 795–802. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.10.057>
242. Pageaux, B., Marcora, S. M., Rozand, V., i Lepers, R. (2015). **Mental fatigue induced by prolonged self-regulation does not exacerbate central fatigue during subsequent whole-body endurance exercise.** *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(67) <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00067>
243. Pathak, A., Sharma, V., Roy, D., i Banerjee, A. (2021). **Preservation of neural synchrony at peak alpha frequency via global synaptic scaling compensates for white matter structural decline over adult lifespan.** *BioRxiv*. <http://nbrc.sciencecentral.in/819/>
244. Patrick, G. (1999). **The effects of vibroacoustic music on symptom reduction.** *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 18(2), 97–100. <https://doi.org/10.1109/51.752987>
245. Peake, J. M., i Peake, J. M.. (2019). **Recovery after exercise: what is the current state of play?.** *10*. <https://doi.org/10.1016/J.COPHYS.2019.03.007> (02.02.2024)

246. Peake, J. M., Roberts, L. A., Figueiredo, V. C., Egner, I., Krog, S., Aas, S. N., Suzuki, K., Markworth, J. F., Coombes, J. S., Cameron-Smith, D., i Raastad, T. (2016). **The effects of cold water immersion and active recovery on inflammation and cell stress responses in human skeletal muscle after resistance exercise.** *Journal of Physiology*, 595(3), 695–711. <https://doi.org/10.1113/jp272881>.
247. Peciuliene, I., Perminas, A., Gustainiene, L., i Jarasiunaite, G. (2015). **Effectiveness of Progressive Muscle Relaxation and Biofeedback Relaxation in Lowering Physiological Arousal among Students with Regard to Personality Features.** *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 205, 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.09.064>
248. Peper, Erik i Harvey, Richard i Lin, I-Mei i Tylova, H. i Moss, Donald. (2007). **Is There More to Blood Volume Pulse Than Heart Rate Variability, Respiratory Sinus Arrhythmia, and Cardiorespiratory Synchrony?.** *Biofeedback*. 35(2). 54-61. ISSN 1081-5937
https://www.researchgate.net/publication/259560204_Is_There_More_to_Blood_Volume_Pulse_Than_Heart_Rate_Variability_Respiratory_Sinus_Arrhythmia_and_Cardiorespiratory_Synchrony
249. Pérez-Elvira, R., Oltra-Cucarella, J., Carrobles, J. A., Teodoru, M., Bacila, C., i Neamtu, B. (2021). **Individual Alpha Peak Frequency, an Important Biomarker for Live Z-Score Training Neurofeedback in Adolescents with Learning Disabilities.** *Brain Sciences*, 11(2), 167. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020167>
250. Perini, R., Orizio, C., Baselli, G., Cerutti, S., i Veicsteinas, A. (1990). **The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability.** *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(1-2), 143–148. <https://doi.org/10.1007/bf00236709>
251. Pesek, A., i Bratina, T. (2016). **Gong and Its Therapeutic Meaning.** *Musicological Annual*, 52(2), 137–161. <https://doi.org/10.4312/mz.52.2.137-161>
252. Pichot, V., Busso, T., Roche, F., Garet, M., Costes, F., Duverney, D., Lacour, J., i Barth??L??My, J. (2002). **Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study.** *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(10), 1660–1666. <https://doi.org/10.1097/00005768-200210000-00019>

253. Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., Costes, F., Busso, T., Lacour, J., i Barth??L??My, J. C. (2000). **Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners.** *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(10), 1729–1736. <https://doi.org/10.1097/00005768-200010000-00011>
254. Pinar, S., Kaya, F., Bicer, B., Erzeybek, M. S., i Cotuk, H. B. (2012). **Different recovery methods and muscle performance after exhausting exercise: comparasionof effects of electrical muscle stimulation and massage.** *Biology of Sport*, 29(4), 23–29. <https://doi.org/10.5604/20831862.1019664>
255. Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., i Buchheit, M. (2012). **Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison.** *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3729–3741. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4>
256. Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., i Buchheit, M. (2013). **Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring.** *Sports Medicine*, 43(9), 773–781. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>;
257. Porges, S. W. (1995). **Cardiac vagal tone: A physiological index of stress.** *Neuroscience i Biobehavioral Reviews*, 19(2), 225–233. [https://doi.org/10.1016/0149-7634\(94\)00066-a](https://doi.org/10.1016/0149-7634(94)00066-a) (12.01.2024)
258. Priddy, S. E., Howard, M. O., Hanley, A. W., Riquino, M. R., Friberg-Felsted, K., i Garland, E. L. (2018). **Mindfulness meditation in the treatment of substance use disorders and preventing future relapse: neurocognitive mechanisms and clinical implications.** *Substance Abuse and Rehabilitation, Volume 9(9)*, 103–114. <https://doi.org/10.2147/sar.s145201>
259. Punkanen, M., i Ala-Ruona, E. (2012). **Contemporary Vibroacoustic Therapy: Perspectives on Clinical Practice, Research, and Training.** *Music and Medicine*, 4(3), 128–135. <https://doi.org/10.47513/mmd.v4i3.316>
260. Reimers, A., Knapp, G., i Reimers, C.-D. (2018). **Effects of Exercise on the Resting Heart Rate: A Systematic Review and Meta-Analysis of Interventional Studies.** *Journal of Clinical Medicine*, 7(12), 503. <https://doi.org/10.3390/jcm7120503>

261. Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J. M., van Roon, A., i Duschek, S. (2013). **The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis of previous studies.** *Psychophysiology*, 50(5), 477–487. <https://doi.org/10.1111/psyp.12027>
262. Roberts, J. A., Gollo, L. L., Abeysuriya, R. G., Roberts, G., Mitchell, P. B., Woolrich, M. W., i Breakspear, M. (2019). **Metastable brain waves.** *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08999-0>
263. Robinson, B. F., Epstein, S. E., Beiser, G. D., i Braunvald, E. (1966). **Control of Heart Rate by the Autonomic Nervous System. Studies in man on the interrelation between baroreceptor mechanisms and exercise** *Circulation Research*, 19(2), 400–411. <https://doi.org/10.1161/01.res.19.2.400>
264. Rodriguez-Larios, J., i Alaerts, K. (2021). **EEG alpha-theta dynamics during mind wandering in the context of breath focus meditation: An experience sampling approach with novice meditation practitioners.** *The European journal of neuroscience*, 53(6), 1855–1868. <https://doi.org/10.1111/ejn.15073>
265. Rojiani, R., Zhang, X., Noah, A., i Hirsch, J. (2018). **Communication of emotion via drumming: dual-brain imaging with functional near-infrared spectroscopy.** *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 13(10), 1047–1057. <https://doi.org/10.1093/scan/nsy076>
266. Romero, S. A., Minson, C. T., i Halliwill, J. R. (2017). **The Cardiovascular System after Exercise.** *Journal of Applied Physiology*, 122(4), 925–932. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00802.2016>
267. Rose, C., Edwards, K., Siegler, J., Graham, K., i Caillaud, C. (2017). **Whole-body Cryotherapy as a Recovery Technique after Exercise: A Review of the Literature.** *International Journal of Sports Medicine*, 38(14), 1049–1060. <https://doi.org/10.1055/s-0043-114861>
268. Runco, M. A. (2014). **Chapter 3 -Biological Perspectives on Creativity.** In Elsevier eBooks (pp. 69–108). (M. A. Runco, Ed.). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-410512-6.00003-5>

269. SA-3000P Clinical Manual VER.3.0; **Heart Rate Variability Analysis System**, Mediacore Co., LTD.
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=iesrc=source=web&icd=ived=2ahUKEwinnfHntJmEAXV98LsIHX18Ci0QFnoECBEQAQ&url=http%3A%2F%2Fmedicare.com%2Fdownload%2FHRV_clinical_manual_ver3.0.pdf&usq=AOvVaw0eClzJqaeyBraT6bf13Gqmiopi=89978449 (07.02.2024)
270. Saito, M., i Nakamura, Y. (1995). **Cardiac Autonomic Control and Muscle Sympathetic Nerve Activity during Dynamic Exercise**. *The Japanese Journal of Physiology*, 45(6), 961–977. <https://doi.org/10.2170/jjphysiol.45.961>
271. Salahuddin, L., Cho, J., Jeong, M. G. i Kim, D. (2007). **Ultra short term analysis of heart rate variability for monitoring mental stress in mobile settings**. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 4656–4659. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4353378>
272. Samadi, S., Rashid, M., Askari, M.R., Saada, S., Kolodziej, P. i Park, M., Quinn, L., i Cinar, A. (2019). **Modeling Blood Volume Pulse Signal Using Exercise Intensity**. IEEE EMBS International Conference on Biomedical i Health Informatics (BHI), pp. 1-4, DOI: [10.1109/BHI.2019.8834662](https://doi.org/10.1109/BHI.2019.8834662)
273. Savin, W. M., Davidson, D. M., i Haskell, W. L. (1982). **Autonomic contribution to heart rate recovery from exercise in humans**. *Journal of Applied Physiology*, 53(6), 1572–1575. <https://doi.org/10.1152/jappl.1982.53.6.1572>
274. Schwartz MS, Andrasik F (2017).. **Cardiorespiratory biofeedback** in 4th ed. *Biofeedback: A Practitioner’s Guide*. New York: The Guilford Press p. 196–213, ISBN 9781462531943
275. Semmlow, J. (2018), Chapter 1 - **The Big Picture: Bioengineering Signals and Systems** ScienceDirect; Academic Press. eBooks (pp. 3–50) <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809395-5.00001-1>
276. Shaffer, F., i Ginsberg, J. P. (2017). **An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms**. *Frontiers in public health*, 5, 25 <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
277. Shaffer, F., McCraty, R., i Zerr, C. L. (2014). **A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart’s anatomy and heart rate variability**. *Frontiers in Psychology*, 5:1040. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01040>

278. Sheldon, R. S., Grubb, B. P., Olshansky, B., Shen, W.-K., Calkins, H., Brignole, M., Raj, S. R., Krahn, A. D., Morillo, C. A., Stewart, J. M., Sutton, R., Sandroni, P., Friday, K. J., Hachul, D. T., Cohen, M. I., Lau, D. H., Mayuga, K. A., Moak, J. P., Sandhu, R. K., i Kanjwal, K. (2015). **2015 Heart Rhythm Society Expert Consensus Statement on the Diagnosis and Treatment of Postural Tachycardia Syndrome, Inappropriate Sinus Tachycardia, and Vasovagal Syncope.** *Heart Rhythm*, 12(6), e41–e63. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2015.03.029>
279. Shibata, M., Shimura, M., Shibata, S., Wakamura, T., i Moritani, T. (1997). **Determination of the optimal walking speed for neural relaxation in healthy elderly women using electromyogram and electroencephalogram analyses.** *European Journal of Applied Physiology*, 75(3), 206–211. <https://doi.org/10.1007/s004210050149>
280. Singh, N., Moneghetti, K., Christle, J. W., Hadley, D., Plews, D. J., i Froelicher, V. (2018). **Heart Rate Variability: An Old Metric with New Meaning in the Era of using mHealth Technologies for Health and Exercise Training Guidance. Part One: Physiology and Methods.** *Arrhythmia i Electrophysiology Review*, 7(3), 193. <https://doi.org/10.15420/aer.2018.27.2>
281. Skille, O. (1989). **VibroAcoustic Therapy.** *Music Therapy*, 8(1), 61–77. <https://doi.org/10.1093/mt/8.1.61>
282. Skille, O., i Wigram, T. (1995b). **The Effects of Music, Vocalisation and Vibration on Brain and Muscle Tissue: Studies in Vibroacoustic Therapy, The Art and Science of Music Therapy: a Handbook,** eBook ISBN 9781315077512 <https://vbn.aau.dk/en/publications/the-effects-of-music-vocalisation-and-vibration-on-brain-and-musc>
283. Stanhope, J., i Weinstein, P. (2020). **The human health effects of singing bowls: A systematic review.** *Complementary Therapies in Medicine*, 51, 102412. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2020.102412>
284. Stanley, J., Peake, J. M., i Buchheit, M. (2013). **Cardiac Parasympathetic Reactivation Following Exercise: Implications for Training Prescription.** *Sports Medicine*, 43(12), 1259–1277. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0083-4>
285. Su, K.-H., Hsueh, J.-J., Chen, T., i Shaw, F.-Z. (2021). **Validation of eyes-closed resting alpha amplitude predicting neurofeedback learning of upregulation alpha activity.** *Scientific Reports*, 11(1), 19615. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99235-7>

286. Szabó Csaba. (2004) *The Effects of Monotonous Drumming on Subjective Experiences*, 5th Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music (ESCOM): Hanover University of Music and Drama, September 8 - 13, 2003. ISSN 1617-6847; ISBN 3-931852-67-9; https://www.epos.uni-osnabrueck.de/books/k/klww003/pdfs/225_Szabo_Abs.pdf (15.01.2024)
287. Tabata, I. (2019). *Tabata training: one of the most energetically effective high-intensity intermittent training methods*. *The Journal of Physiological Sciences*, 69(4), 559–572. <https://doi.org/10.1007/s12576-019-00676-7>
288. Takada, H., Takada, M., i Katayama, A. (2005). *The Significance of “LF-component and HF-component which Resulted from Frequency Analysis of Heart Rate” and “the Coefficient of the Heart Rate Variability”-Evaluation of Autonomic Nerve Function by Acceleration Plethysmography*. *Sogo Kenshin*, 32(6), 504–512. <https://doi.org/10.7143/jhep.32.504>
289. Talty, J. T. (1998). *1 - Physics of Sound*. ScienceDirect;. *Industrial Hygiene Engineering* (2) pp. 372-389 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780815511755500340>
290. Tamura, T. (2019). *Current progress of photoplethysmography and SPO2 for health monitoring*. *Biomedical Engineering Letters*, 9(1), 21–36. <https://doi.org/10.1007/s13534-019-00097-w>
291. Tanković A. (2015), *Uticaj Vibracija na ljudski organizam*, Bilten ljebarske komore, <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&iesrc=sisource=webicd=icad=rjaiuact=8ive&d=2ahUKEwjzbnRzNiDAX37wIHHVfFBgwQFnoECA4QAQiurl=http%3A%2F%2Fwww.gfos.unios.hr%2Fdownload%2F05-uticaj-vibracija.pdf&usg=AOvVaw2xM9H-S7D8eGbSTtTTBXHdiopi=89978449> (12.01.2024)
292. Tarvainen, M. P., Niskanen, J.-P., Lipponen, J. A., Ranta-aho, P. O., i Karjalainen, P. A. (2017). *Kubios HRV – Heart rate variability analysis software version 3*. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1), 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024>
293. Task Force, (1996) *Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use*. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*, 93(5), 1043–1065 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8598068/>

294. Terwagne, D., i Bush, J. W. M. (2011). **Tibetan singing bowls**. *Nonlinearity*, 24(8), R51–R66. <https://doi.org/10.1088/0951-7715/24/8/r01>
295. Tewfik, T. L., (2017). **Vagus nerve anatomy: gross anatomy, microscopic anatomy, natural variants**. <https://emedicine.medscape.com/article/1875813-overview?form=fpf>
296. Thayer, J. F., Yamamoto, S. S., i Brosschot, J. F. (2010). **The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors**. *International Journal of Cardiology*, 141(2), 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2009.09.543>
297. Thomas, B. L., Claassen, N., Becker, P. J., i Viljoen, M. (2019). **Validity of commonly used heart rate variability markers of autonomic nervous system function**. *Neuropsychobiology*, 78(1), 14–26. <https://doi.org/10.1159/000495519>
298. Tiller, W. A., McCraty, R., i Atkinson, M. (1996). **Cardiac coherence: a new, noninvasive measure of autonomic nervous system order**. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 2(1), 52–65. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8795873/>
299. Tindle, J., i Tadi, P. (2022). **Neuroanatomy, Parasympathetic Nervous System**. PubMed; StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553141/>
300. Titranje i valovi, (2017) PMF u Splitu (2017) **Titranje i valovi**. www.pmfst.unist.hr/~agicz/PredNU5slike.pdf
301. Tiwari, R., Kumar, R., Malik, S., Raj, T., i Kumar, P. (2021). **Analysis of Heart rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability**. *Current Cardiology Reviews*, 17(5), e160721189770 <https://doi.org/10.2174/1573403x16999201231203854>
302. Tornero-Aguilera, J. F., Jimenez-Morcillo, J., Rubio-Zarapuz, A., i Clemente-Suárez, V. J. (2022). **Central and Peripheral Fatigue in Physical Exercise Explained: a Narrative Review**. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7), 3909. <https://doi.org/10.3390/ijerph19073909>
303. Tortora GJ, Derrickson BH (2017). **Principles of Anatomy and Physiology**. 15th ed. New York: John Wiley and Sons, Inc, ISBN 9781119336563
304. Trammell, J. P., MacRae, P. G., Davis, G., Bergstedt, D., i Anderson, A. E. (2017). **The Relationship of Cognitive Performance and the Theta-Alpha Power Ratio Is Age-Dependent: An EEG Study of Short Term Memory and Reasoning during Task and Resting-State in Healthy Young and Old Adults**. *Frontiers in aging neuroscience*, 9, 364. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00364>

305. Tran, Y., Thuraisingham, R., Craig, A., Tomlinson, E., Davis, G. M., Middleton, J., i Nguyen, H. (2011). **Changes in blood volume pulse during exercise recovery in activity-based therapy for spinal cord injury**. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 693–696. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6090156>
306. Trivedi, G. Y., i Saboo, B. (2019). **A comparative study of the impact of Himalayan singing bowls and supine silence on stress index and heart rate variability**. *Journal of Behavior Therapy and Mental Health*, 2(1), 40–50. <https://doi.org/10.14302/issn.2474-9273.jbtlm-19-3027>
307. Umetani, K., Singer, D. H., McCraty, R., i Atkinson, M. (1998). **Twenty-Four Hour Time Domain Heart Rate Variability and Heart Rate: Relations to Age and Gender Over Nine Decades**. *Journal of the American College of Cardiology*, 31(3), 593–601. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(97\)00554-8](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(97)00554-8)
308. Usakli, A. B. (2010). **Improvement of EEG Signal Acquisition: An Electrical Aspect for State of the Art of Front End**. Computational Intelligence and Neuroscience, 2010, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2010/630649>
309. Valentini, M., i Parati, G. (2009). **Variables influencing heart rate**. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 52(1), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2009.05.004>
310. Valenza G., Nackley B., Friedman B. H. and Barbieri R., (2022a). **Validation of Sympathetic Activity Index from Heartbeat series: a Preliminary Study on Pre-ejection periods**. 12th Conference of the European Study Group on Cardiovascular Oscillations (ESGCO), pp. 1-2, doi: 10.1109/ESGCO55423.2022.9931355. from <https://ieeexplore.ieee.org/document/9931355>
311. Valenza G., Saul J. P. and Barbieri R, (2022b) **"Heart Rate Variability in Spontaneous and Controlled Breathing: a HF power vs. Parasympathetic Activity Index study,"** 12th Conference of the European Study Group on Cardiovascular Oscillations (ESGCO), pp. 1-2, doi: 10.1109/ESGCO55423.2022.9931393. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9931393>
312. Valenza, G., Citi, L., i Barbieri, R. (2016). **Disentanglement of sympathetic and parasympathetic activity by instantaneous analysis of human heartbeat dynamics**. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 932–935. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7590854>

313. Valenza, G., Citi, L., Saul, J. P., i Barbieri, R. (2018). **Measures of sympathetic and parasympathetic autonomic outflow from heartbeat dynamics.** *Journal of Applied Physiology*, 125(1), 19–39. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00842.2017>
314. Valenza, G., Faita, F., Citi, L., Saul, J. P., Reversade, B., i Barbieri, R. (2020). **Validation of Sympathetic Activity Index from Heart Rate Variability series: A Preliminary Muscle Sympathetic Nerve Activity Study.** *Computing in Cardiology (CinC)*, 1-4 <https://doi.org/10.22489/cinc.2020.365>
315. Van de Borne, P., Montano, N., Pagani, M., Oren, R., i Somers, V. K. (1997). **Absence of Low-Frequency Variability of Sympathetic Nerve Activity in Severe Heart Failure.** *Circulation*, 95(6), 1449–1454. <https://doi.org/10.1161/01.cir.95.6.1449>
316. Van Oosterwijck, J., Marusic, U., De Wandele, I., Meeus, M., Paul, L., Lambrecht, L., Moorkens, G., Danneels, L., I Nijs, J. (2021). **Reduced Parasympathetic Reactivation during Recovery from Exercise in Myalgic Encephalomyelitis/Chronic Fatigue Syndrome.** *Journal of Clinical Medicine*, 10(19), 4527. <https://doi.org/10.3390/jcm10194527>
317. Veldhuis, J. D., Rogol, A. D., i Johnson, M. L. (1985). **Minimizing false-positive errors in hormonal pulse detection.** *The American Journal of Physiology*, 248(4 Pt 1), E475-481. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1985.248.4.E475>
318. **Vibracije**, Hrvatska enciklopedija (2024), mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013 – 2024, <https://www.enciklopedija.hr/clanak/vibracije> 07.2.2024.
319. Vurgun, N., Eler, N., Eler, S., i Şentürk A. (2023). **The effect of short-term mental and physical stress on the heart rate variability.** *Ponte International Scientific Researchs Journal*, 79(8). <https://doi.org/10.21506/j.ponte.2023.8.2>
320. Walter, N., i Hinterberger, T. (2022). **Neurophysiological effects of a singing bowl massage.** *Medicina-lithuania*, 58(5), 594. <https://doi.org/10.3390/medicina58050594>
321. Walters, C. L. (1996). **The Psychological and Physiological Effects of Vibrotactile Stimulation, Via a Somatron, on Patients Awaiting Scheduled Gynecological Surgery.** *Journal of Music Therapy*, 33(4), 261–287. <https://doi.org/10.1093/jmt/33.4.261>
322. **Waves and Periodic Motion** (2008), MCAT Review, <http://mcat-review.org/waves-periodic-motion.php> (12.01.2024)

323. Waxman S.G.(Ed.), (2017). **The autonomic nervous system**. Clinical Neuroanatomy, McGraw Hill Education /Medical 28e(20). ISBN-13: 978-1260452358 <https://accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?bookid=1969isectionid=147037681>
324. Welch, G. F., Biasutti, M., MacRitchie, J., McPherson, G. E., i Himonides, E. (2020). **The Impact of Music on Human Development and Well-Being**. *Frontiers in Psychology*, 11(1246). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01246>
325. Weng, J., Matz, H., Gehring, H., i Konecny, E. (2002). **Relationship between blood pressure and finger photoplethysmographic waveform during oxygen desaturation test: a model fitting approach**. *Biomedizinische Technik/Biomedical Engineering*, 47(s1a), 233–234. <https://doi.org/10.1515/bmte.2002.47.s1a.233>
326. West, J. B., i Luks, A. (2016). **Respiratory physiology: The Essentials**. LWW Tenth edition, ISBN-13 : 978-1496310118
327. Weissman, D. G., i Mendes, W. B. (2021). **Correlation of sympathetic and parasympathetic nervous system activity during rest and acute stress tasks**. *International Journal of Psychophysiology*, 162(60–68). <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.01.015>
328. Whitaker, J., Wright, M., i O’Neill, M. (2011). **A pause for thought: exercise-induced sinus arrest causing syncope in a young male**. *BMJ Case Reports*, 2011, bcr1120103519. <https://doi.org/10.1136/bcr.11.2010.3519>
329. White, D. W., i Raven, P. B. (2014). **Autonomic neural control of heart rate during dynamic exercise: revisited**. *The Journal of Physiology*, 592(12), 2491–2500. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2014.271858>
330. Wickramasuriya, D. S., Qi, C., i Faghih, R. T. (2018). **A State-Space Approach for Detecting Stress from Electrodermal Activity**. 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 3562–3567 <https://doi.org/10.1109/embc.2018.8512928>
331. Wigram T., (1996), **The Effects of Vibroacoustic Therapy on Clinical and Non-Clinical Populations**. Ph.D. Thesis, Jessica Kingsley Publishers, London University, <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:77274010>

332. Xavier, G., Su Ting A., Fauzan, N., (2021) **Systematic Review on the Use of Electroencephalogram in Detecting Work Fatigue.** *Journal of Neurology i Neurophysiology*, 11, 001–006. ISBN: 2155-9562 <https://www.iomcworld.org/open-access/systematic-review-on-the-use-of-electroencephalogram-in-detecting-work-fatigue-55059.html>
333. Xiao, F., Kabachkova, A. V., Jiao, L., Zhao, H., i Kapilevich, L. V. (2023b). **Effects of cold water immersion after exercise on fatigue recovery and exercise performance-meta analysis.** *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1006512>
334. Yamaguchi, J., Hozawa, A., Ohkubo, T., Kikuya, M., Ugajin, T., Ohmori, K., Hashimoto, J., Hoshi, H., Satoh, H., Tsuji, I., i Imai, Y. (2005). **Factors Affecting Home-Measured Resting Heart Rate in the General Population The Ohasama Study.** *American Journal of Hypertension*, 18(9), 1218–1225. <https://doi.org/10.1016/j.amjhyper.2005.04.009>
335. Yamamoto, Y., Hughson, R. L., i Peterson, J. C. (1991). **Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis.** *Journal of Applied Physiology*, 71(3), 1136–1142. <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.71.3.1136>
336. Yasuma, F., i Hayano, J.-I. (2004). **Respiratory sinus arrhythmia: why does the heartbeat synchronize with respiratory rhythm?** *Chest*, 125(2), 683–690. <https://doi.org/10.1378/chest.125.2.683>
337. Yen, C., Lin, C.-L., i Chiang, M.C. (2023). **Exploring the Frontiers of Neuroimaging: A Review of Recent Advances in Understanding Brain Functioning and Disorders.** *Life*, 13(7), 1472. <https://doi.org/10.3390/life13071472>
338. Zaccaro, A., Piarulli, A., Laurino, M., Garbella, E., Menicucci, D., Neri, B., i Gemignani, A. (2018). **How breath-control can change your life: A systematic review on psycho-physiological correlates of slow breathing.** *Frontiers in Human Neuroscience*, 12(353), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00353>
339. Zawiaślak-Fornagiel, K., Ledwoń, D., Bugdol, M., Romaniszyn-Kania, P., Małeckci, A., Gorzkowska, A., i Mitas, A. W. (2023). **The increase of theta power and decrease of Alpha/Theta ratio as a manifestation of cognitive impairment in Parkinson's disease.** *Journal of Clinical Medicine*, 12(4), 1569. <https://doi.org/10.3390/jcm12041569>
340. Zynda, L. (1996). **Coherence as an ideal of rationality.** *Philpapers.org*. <https://philpapers.org/rec/ZYNCAA>

DODATAK

Skraćenice korištene u tekstu

APF - Vršna frekvencija alfa valova (Alfa peak frequency)

AV – Alfa valovi

AŽS – Autonomni živčani sustav

BVP – Puls krvnog tlaka (blood volume puls)

CŽS – Središnji (centralni) živčani sustav

EEG – Elektroencefalogram

FS – Frekvencija srca

HRV – Varijabilnost srčanog ritma (heart rate variability)

IBI – interval između dva otkucaja srca (Inter beat interval)

NN - Razmak između normalnih srčanih otkucaja, isključujući ektopične.

PŽS – Parasimpatički živčani sustav

PWV – brzina pulsnog vala (pulse wave velocity)

RA – Amplituda disanja (respiration amplitude)

RR - Razmak između dva uzastopna R vala srčanog otkucaja

RSA – Respiratorna sinus aritmija

RSR – Frekvencija disanja (respiration rate)

SC – Električna provodljivost kože (skin conductance)

SŽS – Simpatički živčani sustav

ST – temperatura na površini kože (skin temperature)

VA – Vibroakustika

VAT – Vibroakustička terapija

ZV – Zvučno-vibracijska

ZVT – Zvučno – vibracijska terapija

NNmin – Najkraći NN interval

NNmax – Najdulji NN interval

NNmean – Prosječni NN interval

SDNN - Standardna devijacija NN intervala

RMSSD - Drugi korijen srednje vrijednosti uzastopnih razlika NN intervala

NN50 - Broj uzastopnih NN intervala koji se razlikuju za više od 50 milisekundi

pNN50 - Udio uzastopnih NN intervala s razlikom većom od 50 ms

PŽS – Parasimpatički živčani sustav

VLF - Komponenta vrlo niske frekvencije (Very Low Frequency) u spektru HRV-a

LF - Komponenta niske frekvencije (Low Frequency) u spektru HRV-a

%LF - Udio snage niskofrekventne komponente u spektru HRV-a

HF – Komponenta visoke frekvencije (High frequency) u spektru HRV-a

%HF - Udio snage komponente visoke frekvencijske u spektru HRV-a

LF/HF omjer – Omjer niskofrekventnih i visokofrekventnih komponenti u spektru HRV-a

ŽIVOTOPIS AUTORA

Zdenko Klarić rođen je 20. listopada 1973. godine u Sanskom Mostu, gdje je završio osnovnu školu. Nakon završene X. gimnazije u Zagrebu, upisuje Kineziološki fakultet u Zagrebu, na kojem diplomira 2008. godine. Doktorski studij na istom fakultetu upisuje 2015. godine. Cjeloživotno se bavi sportom, što mu postaje i profesija. Započinje s gimnastikom a kasnije prelazi na borilačke sportove u kojima ostvaruje zapažene rezultate. Potom se ozbiljnije posvećuje natjecateljskom bodybuildingu. Od 1992. godine radi kao trener, čime se bavi i danas. U svojoj trenerskoj karijeri surađuje s mnogim vrhunskim sportašima iz različitih sportova. Godine 1999. postaje prvi Reebok master fitness trener u Hrvatskoj. Kao voditelj edukacije fitness trenera u sklopu Reebok University-a, održava predavanja na workshopovima i konvencijama u Hrvatskoj i zemljama bivše Jugoslavije. Također, sudi na državnim i međunarodnim bodybuilding natjecanjima. Od 2005. do 2006. godine radi kao urednik fitness časopisa Fit-me, a od 2006. do 2017. obnaša dužnost fitness urednika i službenog trenera časopisa Men's Health. Kroz svoj trenerski rad uviđa važnost procesa oporavka kao dijela trenažnog procesa te počinje dublje proučavati metode oporavka. Godine 2015. postaje zvukoterapeut. Od 2014. godine na Učilištu Magistra u Zagrebu radi kao predavač iz područja sportske prehrane i teorije treninga, te vodi i edukaciju praktične nastave usmjerenja Instruktor fitnessa u teretani.

Objavljeni radovi autora:

1. Klarić, Z. (2016). Varijabilnost srčanog ritma. U V. Findak (Ur.), *Zbornik radova 25. Ljetne škole kineziologa*, Poreč, Hrvatska, (429-437). Hrvatski kineziološki savez, ISBN: 978-953-7965-07-5
2. Klarić, Z., (2017). Vibracije - utjecaj na ljudski organizam i implikacije u sportu. U V. Findak(Ur.), *Zbornik radova 26. Ljetne škole kineziologa*, Poreč, Hrvatska (229-237). Hrvatski kineziološki savez, ISBN: 978-953-7965-09-9
3. Hopovac, A., i Klarić, Z., (2017) The influence of training on autonomic nervous system cardiac modulation. U Zvonař, M.,i Sajdlová, Z., (Ur.), *Sport and Quality of Life, 11th internacional conference on kinanthropology*, Brno,Czech Republic, (783-782), ISBN 978-80-210-8917-4
4. Klarić, Z., Hopovac, A., i Štefan L., (2024). Percentile norms for the 10x5-metre shuttle run test in a large sample of primary school-aged children: A cross-sectional study. *Acta Kinesiologica*, 18(1), 71–74., (22.07.2024)
https://akinesiologica.com/ojs_3.3.0-7/index.php/akinesiologica/article/view/201