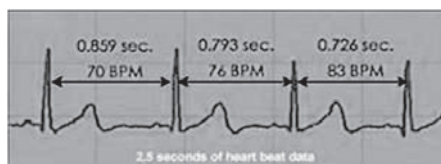


VARIJABILNOST SRČANOG RITMA

1. VARIJABILNOST SRČANOG RITMA (HEART RATE VARIABILITY HRV)

Promjenjivost otkucaja srca ili HRV stupanj je fluktuacije u duljini intervala između pojedinih otkucaja srca. [1]



Slika 1. Prikaz varijabilnosti srčanog ritma između RR intervala. Preuzeto sa <http://www.heartmathbenelux.com/index.php?lang=en&sec=0&id=152>

Iako srce otkuca prosječno 70 otkucaja u minuti, razmak između pojedinih otkucaja varira. Još 1965. zamjećena je klinička važnost HRV-a kao diagnostičkog alata, no tek u posljednje vrijeme, napretkom tehnologije, ovom se fenomenu pridaje sve veće značenje te se uvode standardi u postupake u mjerenja. [2]

2. AUTONOMNI NERVNI SUSTAV

Autonomni nervni sustav (ANS) dio je centralnog živčanog sustava (CNS) koji djeluje nesvjesno i kontrolira rad unutarnjih organa. Centri su mu u kralježničnoj moždini, moždanom deblu i hipotalamusu. Čine ga dvije osnovne grane: *simpatikus* i *parasimpatikus*. ANS kontrolira krvni tlak, srčani ritam, tjelesnu temperaturu, probavu, balans tekućina i elektrolita, znojenje, mokrenje, defekaciju, seksualnu aktivnost i razne druge procese. Simpatički nervni sustav (SNS) katabolički je i aktivira se kao odgovor na obranu organizma. Povećava sposobnost za napore i pojačani rad. Stoga, simpatikus ubrzava disanje i rad srca, pojačava izlučivanje adrenalina, usporava rad crijeva i pražnjenje mokraćnog mjehura uzrokuje bronhodilataciju, glikogenolizu i oslobađanje glukoze, pojačava mišićnu aktivnost, uzrokuje znojenje dlanova, širi zjenice, smanjuje izlučivanje slina. SNS je naročito aktivan tijekom čuvstvenih reakcija poput straha i tjeskobe koje troše zalihe energije, a djeluje i u

stanju ostalih emocionalnih promjena [3]. Parasimpatikus djeluje anabolički, stimulira sekreciju i motilitet probavnog sustava, pojačava rad organa, usporava srčani ritam, usporava i produbljuje disanje, snižava krvni tlak, aktivan je kod ugodnih emotivnih stanja, štedi energiju, umiruje, opušta i oporavlja organizam. Pri odmaranju nakon fizičke aktivnosti broj otkucaja srca i udisaja se smanjuje, rad crijeva i žlijezda pojačava i energija se obnavlja. Aktivan je naročito noću. [4, 5, 6] Kada su dvije grane ANS-a nalaze u ravnoteži, tijelo je u homeostazi. Problemi nastaju kada jedna od njih (većinom simpatikus) postane dominantna i ostane kroz dulji vremenski period.

3. DJELOVANJE NERVUSA VAGUSA

Nervus vagus (lutajući živac) najduži je parni moždani živac. Ime mu potječe od latinske riječi *vagus*, što doslovno znači „lutajući“. On „luta“ od moždanog debla kroz vrat, prsni koš i abdomen te se grana po organima u obliku plexusa. Vagus je najjači *parasimpatički živac* i važan je antagonist simpatikusu. Osim motoričkih vlakana, 80-90% živčanih vlakana vagusa su senzorička (afarentna) te nose informacije o stanju tijela u ANS. [6, 7, 8, 9]

4. AUTONOMNI NERVNI SUSTAV I SRCE

Kardiovaskularni sustav u najvećoj je mjeri pod kontrolom kardiovaskularnih moždanih područja preko aktivnosti simpatičkih i parasimpatičkih živaca [10]. CNS sam po sebi ne inicira srčane otkucaje, ali utječe na modulaciju ritma i snage kontrakcije. Bez njegovog djelovanja, prirodna frekvencija srca (FS) iznosi 100 – 120 otkucaja u minuti. Simpatičkim djelovanjem FS može dosegnuti do 230 otkucaja, a kod treniranih sportaša čak i više. Parasimpatikus putem vagusa inhibira djelovanje simpatikusa i prirodnog ritma srca i spušta broj otkucaja na 60 do 80. Ovisno o treniranosti organizma, kod vrhunskih sportaša FS može pasti čak i ispod 30. Vagalna aktivnost ne utječe direktno na broj, nego na vremenski razmak između otkucaja. Efekt stimulacije vagusa veoma je brz. Samo jedan impuls može izazvati promjenu HRV-a od 400ms. Simpatikus, slično kao vagus, djeluje na interval između dva otkucaja. Međutim njegov odgovor na impuls mnogo je sporiji. Poslije stimulacije prvo se pojavljuje period latence od 5s, a zatim se FS povećava dostižući prag za 20-30s. Ako se stimulansi promjene i odgovor se javlja u periodu od 5s, izazvan je aktivacijom parasimpatikusa. Ukoliko period latence traje dulje od 5s, odgovori su izazvani simpatikusom [11, 12]. U tijelu postoji veliki broj raznih receptora koji šalju informacije u CNS. Za regulaciju rada srca najvažniji su proprioreceptori, baroreceptori i kemoreceptori. Proprioreceptori se nalaze u mišićima te prilikom fizičke aktivnosti šalju signale o promjeni stanja što povećava frekvenciju otkucaja i srčanog *output*-a. Fizički trening ima utjecaj na otkucaje i u toku aktivnosti i u

toku odmora. Otkucaji tijekom odmora su slabiji, ali maksimalna frekvencija ostaje nepromijenjena, tako da je variranje mnogo veće. FS se poveća odmah na početku aktivnosti zbog inhibicije vagusa. Zatim dolazi do stimuliranja mehanoreceptora i metaboreceptora te FS još poraste. Baroreceptori registriraju promjene tlaka u aorti i karotidnim arterijama. Padom pritiska smanjuje se signal što uzrokuje povećanje frekvencije srca i obrnuto. Kemoreceptori reagiraju na promjenu PH krvi, CO₂ i kisika u aorti, karotidnim arterijama i produženoj moždini. Stimulacija kemoreceptora izaziva hipertenziju. Odgovor na stimulaciju kemoreceptora je ubrzano disanje koje povećava i FS. [12, 13, 14, 15]

5. RESPIRATORNA SINUS ARITMIJA (RSA)

RSA je kardiovaskularni fenomen karakterističan za sisavce. Podrazumijeva promjenjivost srčanog ritma i duljine trajanja pojedinih otkucaja koji su u fazi s udisajem i izdisajem [16]. Tijekom udisaja simpatička je aktivnost dominantna te se ritam srca ubrzava, a varijabilnost rada smanjuje, dok se tijekom izdisaja parasimpatička aktivnost pojačava što usporava srčani ritam i povećava HRV. Inspirij inhibira vagusni tonus i skraćuje se ciklična duljina R-R intervala. Za vrijeme ekspirija ciklična duljina R-R intervala se produžuje. Takva izmjena izaziva varijabilnost srčanog ritma [15]. Odnos faze i amplitude između respiracije i rada srca ovisi o ritmu i dubini disanja [17, 18]. Dakle RSA je fenomen koji nastaje kao direktni rezultat interakcije kardiovaskularnog i respiratornog sistem [16], odnosno pokazatelj balansa simpatičke i parasimpatičke aktivnosti. Pacijenti sa srčanim problemima imaju niži HRV [19].

6. VARIJABILNOST SRČANOG RITMA KAO MARKER ZDRAVLJA I FITNESSA POJEDINCA

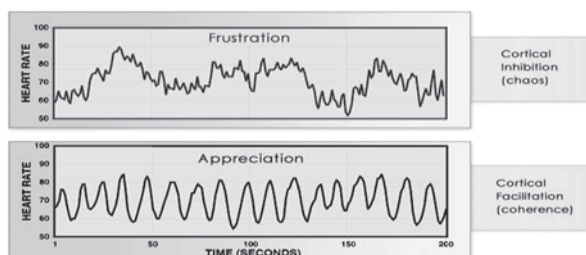
Na rad srca, preko ANS-a, utječu mnogi čimbenici – rana dijastolička depolarizacija sinus čvora, funkcija autonomnog živčanog sustava, temperatura tijela, hormoni štitnjače, metabolizam, kateholamini i neurotransmiteri. [20] FS je rezultat koordiniranog djelovanja parasimpatičke inhibicije, simpatičke stimulacije te unutarnje aktivnosti sinusnog čvora. U mirovanju dominira tonus vagusa. Vagusni živci inerviraju sinusni čvor, atrioventrikulski snop te miškulaturu pretkljetki i kljetki. Aktivnost vagusa također usporava atrioventrikulsko provođenje te dopušta brzo mijenjanje frekvencije srca od otkucaja do otkucaja [15, 21]. Promjenjivost frekvencije srca raste tijekom noći, pada tijekom dana, a najniža je upravo prije buđenja. Porast frekvencije tijekom noći pripisuje se povišenom tonusu vagusa, dok su promjene varijabilnosti tijekom dana rezultat međusobnog djelovanja simpatikusa i vagusa na aktivnost sinus čvora. Mlađe osobe imaju veći HRV, naročito tijekom

noći, dok se u starijih osoba utjecaj vagusa ublažava [15, 22, 23]. Analiza HRV-a postala je važna metoda procjene autonomne kardiovaskularne regulacije [24]. Manja varijabilnost ukazuje na mogući poremećaj tjelesnih funkcija, odnosno osobe s većim HRV-om smatraju se zdravijima i u boljoj formi. Mnogobrojne studije ukazuju na važnost ovog fenomena. Određeni su standardi mjerenja [25, 2] kako bi se HRV, kao jedina neinvazivna mjera stanja i balansa ANS-a mogao koristiti kao marker fiziološke elastičnosti i fleksibilnosti u ponašanju, reflektirajući sposobnost adaptacije na stres i zahtjeve okoline. Simpatička i parasimpatička grana ANS-a kontinuirano međudjeluju kako bi održali optimalnu kardiovaskularnu aktivnost te osiguraju prikladnu reakciju na promjenjive unutarnje i vanjske uvjete. Analiza HRV-a služi kao dinamički prozor kroz koji pratimo funkciju i balans ANS-a [26, 27]. Smanjenje varijabilnosti rada srca tijekom godina je prirodan proces, no adnormalno niska varijabilnost, za određenu dobnu skupinu, povezana je povećanim rizikom zdravstvenih problema u budućnosti i preuranjenom smrtnošću.

7. HRV I EMOCIJE

Mujica-Parodi et. al. [28] ispitivali su vezu između anksioznosti, HRV-a i limbičke disregulacije. Ispitanici s najvišim stupnjem anksioznosti pokazivali su najviše limbičke disfunkcije. Veća limbička disregulacija povezana je s povećanjem simpatetičke aktivnosti i smanjenjem kaosa u srčanom ritmu. Zaključeno je da zdrav um može brzo reagirati na promjene uvjetovane vanjskim uzbuđenjem s jednako jakim i brzom sposobnošću parasimpatikusa da se vrati natrag u balans. Ako je inhibitorni parasimpatetički sistem spor ili ne reagira, tada simpatički drive dominira (jer jednom podignut ima tendenciju i ostati u pobuđenom stanju), što rezultira sniženim HRV-om. Pojačana aktivnost simpatikusa u korelaciji je sa smanjenjem aktivnosti frontalnog moždanog režnja. Analogno tome, mnoge mentalne bolesti kojih je uzrok hipoaktivni frontalni režanj, mogu biti izazvane produljenim simpatičkim djelovanjem te detektirane praćenjem HRV-a. Studije [29, 30] su pokazale da je veći HRV pokazatelj kvalitetnije i brže emotivne adaptacije na zahtjeve okoline, dok niži ukazuje na emotivnu disregulaciju, kao što su tjeskoba, nervoza, depresije te učestali osjećaj prijetnje iz okoline. Mnogi čimbenici utječu na rad ANS-a, a tako i na HRV – obrasci disanja, fizičko vježbanje, i vrlo intenzivno – misli. Istraživanje na insitutu HeartMath [27] pokazalo je da su osjećaji i emocije jedan od najmoćnijih faktora koji uvjetuje promjene u srčanom ritmu. Emocionalni stres te anksioznost, tjeskoba, strepnja, nervoza, ljutnja, frustracija generiraju iregularne i nepravilne uzorke srčanog ritma. Forma snimljenih HRV valova izgleda kao serija nejednakih, šiljastih vrhova.

Ovo se naziva – *nekoherentan* uzorak srčanog ritma. Fiziološki, takav uzorak upućuje da su signali dvaju grana ANS nesinhronizirani. Isto tako, *nekoherentna*



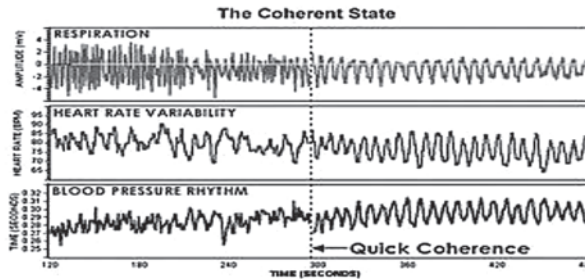
Slika 2. Usporedba uzoraka snimljenih HRV valova pri emocijama frustracije (gore) izahvalnosti (dolje). Preuzeto s <http://www.heartmathbenelux.com/index.php?lang=en&sec=0&id=152>

fiziološka aktivnost vezana uz stresne emocije može uzrokovati neefikasnu funkcionalnost koja crpi energiju i dovodi do pojačanog trošenja cijelog sistema, osobito ako su takva stanja prolongirana kroz dulje vrijeme ili se doživljavaju često. Suprotno tome, pozitivne emocije šalju potpuno drugačiji signal kroz tijelo. Doživljaj emocija kao što su poštovanje, zahvalnost, uгода, zaštita i ljubav uređuje srčani ritam te on izgleda kao fino ugladen harmoničan val. To je *koherentan* uzorak srčanog ritma. Aktivnosti dviju grana ANSa su sinhronizirane te tijelo funkcionira sa povećanom efikasnošću i harmonijom [27].

8. AUTONIMNI NERVI SUSTAV I KAKO NA NJEGA UTJECATI – KOHERENCIJA

Ritam disanja i svjesni odabir emocija svjesne su aktivnosti kojima je moguće utjecati na ANS. Sporije i dublje disanje uvjetuje dominaciju parasimpatikusa, pad FS-a i povećanje HRV-a dok brže i pliće disanje pobuđuje simpatikus. Isto tako stresna emotivana stanja pobuđuju simpatički odgovor dok pozitivne emocije potiču aktivaciju vagusa i parasimpatičku reakciju. Istraživanja [31, 32, 33] su pokazala međusobnu nelinearnu ovisnost ritma disanja, FS-a i HRV-a. Pokazalo se da ritam disanja od 5 ciklusa u minuti (1 ciklus u 12 sec) donosi najoptimalniji balans simpatikusa i parasimpatikusa mjereno kroz FS i HRV. Sve ispod 5 ciklusa uzrokuje dominaciju parasimpatikusa, a sve preko podiže utjecaj simpatikusa. Zaključeno je da se koherencija postiže s 5 respiracijskih ciklusa u minuti. Mjereni HRV je padao kako pojačanom simpatičkom tako i pojačanom parasimpatičkom dominacijom. Nakon povećanja broja ciklusa disanja za samo 2,5 puta, dakle s 5 na 7,5, broj otkucaja narastao je sa 60 na 77,5. Kod ritma disanja od 30 ciklusa u minuti HRV (mjereno u frekvencijskoj domeni) varirao je između 91 i 93 otkucaja dok je kod 5 udisaja u minuti varirao između 60 i 94 BPMA. Na institutu HeartMath [32] su uz disanje uključili i pozitivne emocije te razvili protokol postizanja koherencije. Ispitanici su uz 5 ciklusa disanja u minuti svjesno generirali ugodne emocije i prisjećali se lijepih

životnih trenutaka. Mjereni su moždani valovi, ritam disanja i HRV. Kroz dvadesetak minuta postignuta je zapanjujuća koherencija između moždanih valova, disanja i rada srca. Svi mjereni valovi pokazivali su gotovo identične krivulje. Važno je reći da koherencija nije isto što i relaksacija.



Slika 3. Uzorci istovremenog snimanja respiracije, HRVa i krvnog tlaka prije i poslije postizanja koherencije. Preuzeto [shttp://www.heartmathbenelux.com/index.php?lang=en&sec=0&id=152](http://www.heartmathbenelux.com/index.php?lang=en&sec=0&id=152)

9. IMPILIKACIJE U SPORTU

HRV je relativno nova metoda za procjenu efekata stresa na tijelo [34]. Kako se HRV uzima kao mjera stanja i balansa ANS-a, praćenjem istog moguće je utvrditi zdravstveno stanje sportaša te pomoću njega vrlo precizno dozirati balans treninga i potrebnog odmora. Porastom tjelesne aktivnosti raste utjecaj simpatikusa, a slabi utjecaj vagusa [15]. Otkad je 2002. Iellemo u svom radu [35] dokazao znatne promjene ANS-a kod vrhunskih veslača, provedene su mnogobrojne studije. Iako neki od dobivenih rezultata pokazuju odstupanja, čemu je uzrok neusklađenost u mjerenjima, generalni zaključak je da HRV može vrlo precizno pokazati psihofizičko stanje sportaša te biti izvrstan alat u procesu treninga. Na HRV kod sportaša utječu mnogi faktori – nivo umora prije treninga, hidratacija, anksioznost, natjecateljski stres, nervoza, veličina lijeve ventrikule, nivo treniranosti, vrsta treninga, individualna vještina izvođenja, položaj tijela pri mjerenju, vlažnost zraka, trenutno raspoloženje, hormonalni status, lijekovi i stimulansi te spol i starost sportaša. Uzevši sve ove parametre u obzir, HRV je pokazatelj sveukupnog stanja i fitnesa sportaša te, ukoliko je dobar, govori o savršenom balansu svih faktora koji su potrebni za vrhunsku sportsku izvedbu. Istraživanja u kojima su obuhvaćene razne vrste intenziteta i ekstenziteta trenažnog opterećenja te različiti stresori [36, 37, 26] pokazuju potrebu za individualnim pristupom svakom sportašu. HRV ne može biti impliciran na grupu. Samo odmorno tijelo je u balansu. Da bi se dobio optimalan adaptacijski odgovor, uvjeti stresa moraju biti precizno dozirani. Previše ili premalo treninga usporit će ili

onemogućiti sportski napredak. U tome je HRV izuzetno precizan alat. Mjerenje je najbolje izvoditi odmah nakon buđenja i uvijek na isti način. Različiti položaji tijela u prostoru pokazat će različite rezultate. Pretreniranost nekad traži tjedne pa čak i mjesec apstinencije od treninga. Redovitim mjerenjem HRV-a moguće je stalno biti „u zoni“, trenirati u najboljim mogućim uvjetima te ostvariti najbolje moguće rezultate. Kako jedna poznata pjesma kaže - *Listen to your heart!*

10. LITERATURA

1. Malik M. et al. Practicality of postinfarction risk assessment based on time-domain measurement of heart rate variability (Eds.), Heart Rate Variability, Futura, Armonk, NY (1995), pp. 393–406
2. „Heart rate variability, Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, guidelines“, European Heart Journal (1996) Vol.17, 354–381
3. Simpatikus (2015) Wikipedia: The free Encyclopedia, Wikimedia Foundation, Inc <https://hr.wikipedia.org/wiki/Simpatikus> (03.04.2016)
4. *Autonomni živčani sustav*, MSD priručnici, Hr. liječnički zborni, <http://www.msd-prirucnici.placebo.hr/msd-prirucnik/neurologija/autonomni-zivcani-sustav> (01.04.2016)
5. *Autonomni ili vegetativni živčani sustav* (2008), www.medicine_science.blogger.hr, MeDiCiNe_ScIeNcE, <http://www.medicine-science.blogger.index.hr/post/autonomni-ili-vegetativni-zivcani-sustav/619488.aspx> (03.04.2016)
6. Karlovsky 120, Perpetuum Lab Forum, e-learning, *Autonomni živčani sustav*, http://perpetuum-lab.com.hr/wiki/plab_wiki/neurologija/autonomni-ziveani-sustav-r161/ (30.05.2016)
7. Marušić A., Anatomija čovjeka, Medicinska naklada, 2002.
8. Moore K., Clinically Oriented Anatomy, Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
9. Nervus vagus (2015), medicinski leksikon, <http://www.medicinski-leksikon.info/znacenje/nervus-vagus.html> (30.03.2016)
10. Hainsworth R. Physiology of the cardiac autonomic system. In: Malik M, editor. Clinical guide to cardiac autonomic tests. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.
11. Malik M., Heart rate variability. European Heart Journal (1996). Vol.17
12. Blajvaz B. (2010). „Fizičko-matematičke metode za analizu varijabilnosti srčane frekvencije“, diplomski rad, Departman za fiziku, PMF Novi Sad
13. *Vazomotorni centri* (2015). medicinski leksikon, <http://www.medicinski-leksikon.info/znacenje/vazomotorni-centri.html> (02.04.2016)
14. *Other Sensory Receptors*, INNISTA LIBRARY, Anatomy and physiology, <http://www.innista.com/health/anatomy/other-sensory-receptors/> (02.04.2016)

15. Kožul K, Čatipković K (2011). „*Frekvencija srca i njezina promjenjivost u hipertenzivnih bolesnika, s obzirom na A/B tip ponašanja i stupanj zadovoljenosti životnih potreba*“, Hrvatski časopis za javno zdravstvo, Vol 7, Br. 28, listopad 2011.
16. Grossman P, Taylor E.W. (2005). „*Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: Relations to cardiac vagal tone, evolution and biobehavioral functions*“, *Biological Psychology* 74 (2007) 263–285
17. Eckberg, D.L., 1983. Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow. *Journal of Applied Physiology* 54 (4), 961–966.
18. Yasuma F., Hayano J.I. (2004). „*Respiratory Sinus Arrhythmia: Why Does the Heartbeat Synchronize With Respiratory Rhythm?*“, *CHEST* 2004; 125:683–690
19. Schlomka, G. Untersuchungen über die physiologische Unregelmässigkeit des Herzschlages. III. Mitteilung: Über die Abhängigkeit der respiratorischen Arrhythmie von der Schlagfrequenz und vom Lebensalter. *Kreislaufforsch.* 29 : 5 1 O-524, 1937
20. Hainsworth R. Reflexes from the heart. *Physiol Rev* 1991;71:617-58
21. Hamlin RL, Smith CR. Effects of vagal stimulation on SA and AV nodes. *Am J Physiol* 1968;215:560-8.
22. Coumel PH, Heart rate variability in myocardial hypertrophy and heart failure and effects of beta blocking therapy. A nonspectral analysis of heart rate oscillations. *Eur Heart J* 1991;12:412-22.
23. Karapetian GK, Engels HJ, Gretebeck RJ. Use of Heart Rate Variability to Estimate LT and VT. *Int J Sports Med.* 2008, Jan 22
24. Heikki V. i dr. (1999). „*Measurement of Heart Rate Variability: A Clinical Tool or a Research Toy?*“, Elsevier Science Inc., *Journal of the American College of Cardiology*, Vol.34, No.7, 1999
25. Hon EH, Lee ST. Electronic evaluations of the fetal heart rate patterns preceding fetal death, further observations. *Am J Obstet Gynec* 1965; 87: 814–26.
26. André E., et al. „Heart rate variability in athletes.“ *Sports Medicine* 33.12 (2003): 889-919.
27. *Research in focus: „Alpha-rhythm stimulation using brain entrainment enhances heart rate variability in subjects with reduced HRV“*, Transparent corporation (Dr. Elio Conte i dr. 2013), <https://www.transparentcorp.com/research/heart-rate-variability-2013-study.php> (15.02.2016)
28. Mujica-Parodi L.R. et al.. „*Limbic Dysregulation is Associated With Lowered Heart Rate Variability and Increased Trait Anxiety in Healthy Adults*“, *PubMed, Hum Brain Mapp.* 2009 Jan;30(1):47-58

29. Appelhans B.M., Luecken L. J. „*Heart Rate Variability as an Index of Regulated Emotional Responding*“, American Psychological Association, Review of General Psychology, Vol 10(3), Sep 2006, 229-240
30. *Coherence* (2006), COHERENCE® & Personal Resonance Protocol, COHERENCE L.L.C. http://www.coherence.com/science_full_html_production.htm (24.03.2016)
31. Basic Research: Psychophysiology, Heart-Brain Interactions and Coherence (2016), HeartMath® Institute, <https://www.heartmath.org/> (22.04.2016)
32. D. Vaitl, R.I. Kitney, Cardiorespiratory and Cardiosomatic Psychophysiology, Heart Rate Variability in Normal Adults, Published by P. Grossman, K.H.L. Janssen, NATO ASI Series
33. Monitoring Heart Rate Variability (HRV) is so much more valuable than just monitoring heart rate, Ithlete, HRV Fit Ltd, <http://www.myithlete.com/what-is-hrv/> (25.03.2016)
34. Iellamo et al. (2002). „*Conversion From Vagal to Sympathetic Predominance With Strenuous Training in High-Performance*“ World Class Athletes Mourots 2004, American Heart association, Circulation, <http://circ.ahajournals.org/content/105/23/2719.long> (06.04.2016)
35. Mourots L. i dr. „*Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis*“, PubMed, Clin Physiol Funct Imaging. 2004 Jan; 24(1):10-8
36. Manzi V. et al. „*Dose-response relationship of autonomic nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners*“, American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology, Band 296, Ausgabe 6, seiten H1733-H1740, vertlag American Physiological Society 2009.