

# Značaj praćenja vrednosti saturiranog kiseonika u hemoglobinu u sportskoj dijagnostici

The importance of monitoring saturated oxygen values in hemoglobin in the sports diagnostics

**Bojan Međedović**, Fakultet za sport i turizam, Novi Sad

**Jovan Plećaš**, Fakultet za sport i turizam, Novi Sad

## SAŽETAK

**Cljučne reči:**  
testiranje,  
zone opterećenja,  
oksimetrija

Kardio-respiratorna izdržljivost predstavlja jednu od najvažnijih determinanti uspešnosti u sportskim aktivnostima. Kako bi se sportista što bolje pripremio za sportske izazove mora da bude izložen odgovarajućem treningu koji treba da bude baziran na individualnim fiziološkim pokazateljima opterećenja tokom aktivnosti. Iako se trenažno opterećenje može odrediti na više načina, intenzitet treninga se najčešće određuje preko laktatnog praga uzimanjem uzoraka krvi, ili preko ventilatornog praga praćenjem razmene gasova. Takvi podaci, ipak, predstavljaju zakasnele indirektno pokazatelje povećane anaerobne resinteze ATP-a. Mišićna oksimetrija, zasnovana na blisko-infracrvenoj spektroskopiji (NIRS), predstavlja neinvazivnu metodu koja obezbeđuje informacije o promenama stanja kiseonika u hemoglobinu i potencijalno predstavlja pogodnu tehniku prepoznavanja nivoa opterećenja direktno u radnoj muskulaturi.

## ABSTRACT

**Keywords:**  
Testing,  
Performance  
thresholds,  
Oximetry

Cardiorespiratory performance is one of the most important determinants of success in sports activities. In order to better prepare for sports challenges, the athletes must be exposed to appropriate training which should be based on individualized physiological parameters during activity. Even though training intensity can be determined in many different ways, the endurance training intensity is often quantified by the lactate thresholds obtained from the blood sampling or the ventilator thresholds obtained from the gas exchange. These data represent delayed indirect indicators of an increased anaerobic ATP resynthesis. The muscle oximetry, based on near-infrared spectroscopy (NIRS), represents non-invasive method that enables the information about the changes in oxygenation in hemoglobin, and potentially represents a very suitable technique to detect a critical exercise threshold directly in the exercising muscle.

Kontrakcija mišića predstavlja uslov ljudskog kretanja, njome se generiše sila koja obezbeđuje pokret (Trovato et al., 2016). Dabi semišić kontrahovao, potrebna je određena hemijska energija (ATP) uglavnom iz oksidativnog metabolizma u mitohondriji mišića (Addabbo et al., 2009; Coen et al., 2013). Efikasno obezbeđivanje takve energije predstavlja jednu od najvažnijih determinanti uspešnosti u sportskim aktivnostima. Unapređenje takve uspešnosti ostvaruje se adaptacijom organizma na trenažne aktivnosti kroz specifičan odnos obima i intenziteta rada. Dobro upravljanje odnosa opterećenja i adaptacije podrazumeva praćenje i vrednovanje onih biomarkera koji predstavljaju refleksi, visoko prediktivne vrednosti takvog interaktivnog odnosa.

Brojne studije posvećene su problemima doktrine upravljanja trenažnim procesom, prepoznavanja onih fizioloških markera koji sa dovoljno autoriteta informišu o kvalitativno-kuantitativnim posledicama dizajniranog trenažnog uticaja. Rezultati takvih istraživanja doprinose organizaciji treninga koji omogućava bolju adaptaciju na trenažne nadražaje, uz smanjenje rizika od pretreniranosti i prenaprezanja (Scharhag-Rosenberger et al., 2012; Mann et al., 2014; Wolpern et al., 2015). Jedna skorašnja studija ukazuje na činjenicu da slični trenažni stimuli izazivaju različitu efikasnost i adaptaciju sportista, kao i da dinamika promena zavisi od pripremljenosti sportiste, trenažne discipline, pozicije u timu, itd. (Stöggl & Sperlich, 2015). Dakle, što se u trenažnom procesu više uvažavaju vrednosti individualnih biomarkera, koncept trenažnih jedinica je efikasniji, i u definisanju zona opterećenja i u dizajnu ostalih metodskih odrednica treninga, te je posledično veća adaptacija sportiste i njegovo postignuće (García-Pallarés et al., 2009; Wolpern et al., 2015).

Fiziološki markeri koje se najčešće vrednuju prilikom programiranja treninga usmerenom ka razvoju kardiorespiratorne izdržljivosti su: maksimalna potrošnja kiseonika (VO<sub>2</sub> max), ventilatorni prag (VT), laktatni prag (LT), maksimalna aerobna brzina (MAS), maksimalna brzina trčanja na kraju testa, itd. (Stratton et al., 2009; McLaughlin et al., 2010). Visoke vrednosti maksimalne potrošnje kiseonika predstavljaju značajan faktor uspešnosti u sportu (Aziz, Chia, & Teh, 2000).

Repertoar protokola koji doprinose razumevanju trenažnog procesa se umnožava. Snažan doprinos razvoju doktrine dijagnostike u sportu ukazuje na to da se svetlost specifične talasne dužine prolaskom kroz tkiva raspršuje, pri čemu je mera tog raspršenja uslovljena

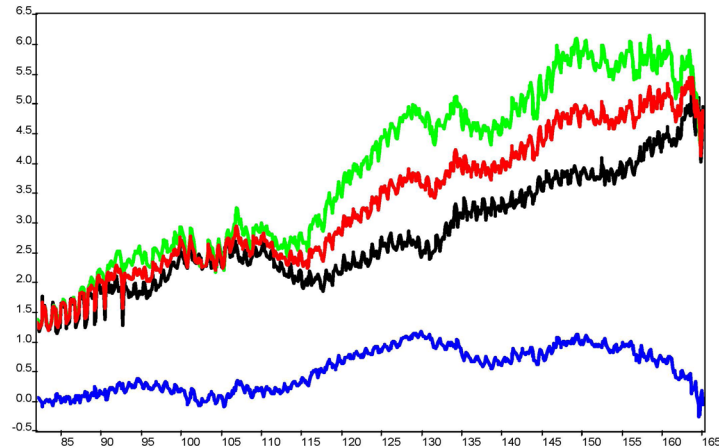
koncentracijom kiseonika u celiji reljefnog mišića. Postupci koji se temelje na ovom svojstvu svetlosti označeni su kao NIRS – *Near infrared spectroscopy* i predstavljaju metodu koja, na osnovu karakteristika tkiva (transparentnost za svetlost u blisko-infracrvenom opsegu, i saturiranosti kiseonika u hemoglobinu reljefnog mišića), omogućava kontinuirano praćenje promena koncentracije kiseonika (McManus, Collision, & Copper, 2018). Takva oksimetrija predstavlja metodu evaluacije oksidativnog metabolizma mišića tokom mirovanja ili različitih modela fizičke aktivnosti.

Koliko su u procesu upravljanja trenažnim procesom značajne ovakve informacije? Može se tvrditi da su veoma značajne, jer, nivoi vrednosti mišićnog rada, karakterističnog za vrhunski sport, uslovljeni procesima u kojima je upravo kiseonik na lokalnom i globalnom nivou sportiste, su odlučujući faktor metabolisanja energije. Upravo je zato većina protokola u sportskoj dijagnostici orijentisana ka evaluaciji interakcije modaliteta fizičkih aktivnosti, i time uslovljeno, varijabiliteta kiseonika u organizmu sportiste. Nedovoljna koncentracija kiseonika, dakle, hipoksija, u uslovima povećane potrebe tkiva za kiseonikom limitira kvalitet mišićnog rada i u tom smislu su informacije NIRS oksimetrije kao posledice praćenja saturacije kiseonika hemo grupe u hemoglobinu (Hbs) u krvnim sudovima (male arterije, arteriole, kapilari, venule, male vene) i hemo grupe u mioglobinu (Mb) u mišićnim vlaknima, veoma značajne. Treba imati na umu da NIRS oksimetrija daje informacije lokalnog karaktera, dakle, saturiranom kiseoniku u mioglobinu mišićne grupe na koju je instrument apliciran. Pošto je reč o utvrđivanju balansa između transporta i iskorišćenosti kiseonika u mišiću, ta metoda predstavlja i potencijalnu dijagnostičku proceduru utvrđivanja intenziteta opterećenja sportiste tokom fizičke aktivnosti, odnosno može se koristiti u prepoznavanju pomenutih pragova opterećenja koji se koriste kao korisni alati prilikom određivanja zona treninga u kondicionoj pripremi (Grassi & Quaresima, 2016).

Jedan od najčešće korišćenih uređaja je PortaMon (*Artinis Madiacal Systems*), prenosni *wireless* NIRS uređaj dizajniran za istraživanje mišića, odnosno praćenje stanja vežbača tokom fizičke aktivnosti. Preko *bluetooth* mreže omogućava se trenutno snimanje osobe koja je u pokretu, čuvanje podataka i naknadno korišćenje povezivanjem sa računarom (*PortaMon user manual*). PortaMon obezbeđuje podatke o oksihemoglobinu, O<sub>2</sub>Hb (crvena boja); dezoksihemoglobinu, Hhb (plava boja); ukupnom hemoglobinu, Hb (zelena boja); razlici u oksihemoglobinu

i dezoksihemoglobinu, O<sub>2</sub>Hb-Hhb (crna boja). Primer praćenja stanja kiseonika u hemoglobinu tokom fizičke aktivnosti dat je na Grafikonu 1. Promene u linijama koje

prikazuju pomenute podatke (prelomne tačke), mogu se, takođe, posmatrati kao pragovi opterećenja.



**Grafikon 1.** Prikaz promena stanja kiseonika u hemoglobinu tokom testiranja (Izvor: Autori)

Kako se navodi u ranijim istraživanjima, prelomna tačka dezoksihemoglobina (Hhb), tokom testova sa progresivnim povećanjem opterećenja, može približno predstavljati drugi anaerobni prag (koncentracija laktata u krvi oko 4 mmol) (Murias et al., 2013; Boone et al., 2015; Keir et al., 2015). Takođe, prelomnom tačkom se može smatrati i momenat u kojem snabdevanje i zahtevi za kiseonikom više nisu stabilni, dakle, smanjenje koncentracije oksihemoglobina nastaje kao posledica okolnosti u kojima mišić troši više kiseonika nego što mu je dostupno. Pri nešto nižim opterećenjima, prelomna tačka linije koja označava razliku u hemoglobinu (O<sub>2</sub>Hb-Hhb) može predstavljati prvi anaerobni prag (koncentracija laktata u krvi oko 2 mmol), odnosno početak limitirane dostupnosti kiseonika u radnim mišićima (Wang et al., 2011; Wang et al., 2012).

U rezultatima istraživanja koja su se bavila utvrđivanjem povezanosti promena koncentracije laktata u krvi i stanja kiseonika u hemoglobinu, primećuju se različite tendencije uslovljene različitim pristupima, odnosno metodologijom istraživanja, i različitim karakteristikama uzorka (uzrast, pol, trenazni status). Generalno, blisko-infracrvena spektroskopija (NIRS) predstavlja proceduru koja prati promene stanja kiseonika u aktivnim mišićima, tačnije, promene stanja oksihemoglobina, dezoksihemoglobina i saturacije tkiva kiseonikom tokom fizičke aktivnosti. Tom testovnom procedurom moguće je prepoznati prelomne tačke, odnosno momente u kojima

promene stanja kiseonika ukazuju na zonu opterećenja vežbača. NIRS tehnologija je često korišćenja u fiziologiji vežbanja kao neinvanzivna metoda praćenja oksidativnog metabolizma u mišiću (McCully & Hamaoka, 2000). Korišćenje kiseonika, mereno ovom metodom, se menja linearno tokom progresivnih testova, pokazujući jednu ili više promena nagiba krive (prelomnih tačaka), na intenzitetu oko 40 % i 80 % od VO<sub>2</sub> max. Potencijalno podudaranje tih prelomnih tačaka sa indeksima anaerobnog metabolizma utvrđivano je u studijama sa različitim ispitanicima: zdrave odrasle osobe, pacijenti sa hroničnim srčanim oboljenjima, i deca (Bhambhani, Buckley, & Susaki, 1997; Miura et al., 1998; Moalla et al., 2005). Sve navedene studije su pokazale da se prelomne tačke podudaraju sa ventilatornim pragom (Bhambhani, Buckley, & Susaki, 1997), početkom nakupljanja laktata u krvi (Grassi et al., 1999), i da se mogu detektovati neinvazivnom metodom merenja korišćenja kiseonika tokom fizičke aktivnosti sa progresivnim povećanjem opterećenja.

U jednoj novijoj studiji, prelomna tačka koncentracije dezoksihemoglobina u radnim mišićima ukazuje na dostizanje gornjeg praga korišćenja kiseonika iz krvi u radnim mišićima, odnosno dostizanje drugog laktatnog praga. Termini koji se još koriste u trenaznoj tehnologiji prilikom objašnjavanja tog stanja jesu: maksimalno stabilno stanje laktata (*maximal lactate steady state*) i kritična snaga (*critical power*). I prelomna tačka

koncentracije oksihemoglobina može da se posmatra kao stanje u kojoj dostupnost i korišćenje kiseonika više nije stabilno, a smanjenje oksihemoglobina u mitohondriji mišića ukazuje na to da taj mišić troši više kiseonika nego što je dostupno. Dalje, pri nižem opterećenju, razlika između oksihemoglobina i dezoksihemoglobina može da se koristi kao pokazatelj opterećenja koje predstavlja prvi anaerobni prag, stanje u kojem radni mišići još uvek nisu dostigli gornji prag korišćenja kiseonika iz krvi, ali ograničenja u dostupnosti kiseonika dovode do pojave laktane acidoze (Zwaard et al., 2016).

Prethodni kontekst ne implicira nova znanja iz oblasti fiziologije mišićnog rada, već upućuje na to da dobijeni markeri informišu o dinamici saturacije kiseonika na lokalnom nivou, na nivou mioglobina animiranog reljefnog mišića. Pa ipak, ovaj tekst preporučuje NIRS oksimetriju kao prihvatljivu proceduru koja, u odnosu na protokole koji daju iste ili slične informacije, ima jedan broj praktičnih prednosti: instrument se jednostavno primenjuje u situacionim uslovima, sportista može i sam da ga aplicira, instrument ne ometa ispitanika u testovnom zadatku, protokol ne podrazumeva dodatne potrošne materijale, dizajn softvera obezbeđuje dobro ažuriranje i obradu podataka.

Blisko-infracrvena spektroskopija (mišićna oksimetrija) predstavlja testovnu proceduru kojom je moguće prepoznati prelomne tačke, odnosno momente u kojima promene stanja kiseonika ukazuju na zonu opterećenja vežbača. Prelomna tačka koncentracije dezoksihemoglobina u radnim mišićima ukazuje na dostizanje gornjeg praga korišćenja kiseonika iz krvi u radnim mišićima, odnosno dostizanje drugog laktatnog praga. Dijagnostičke procedure koje koriste laktate kao pokazatelj opterećenja predstavljaju invazivnu metodu, uz direktno uzimanje uzoraka kapilarne krvi (Billat et al., 2001; Noakes, 2001; Seiler & Kjerland, 2006). Mišićna oksimetrija predstavlja neinvazivnu metodu koja meri balans između transporta i korišćenja kiseonika u mišiću, i predstavlja potencijalno veoma pogodnu tehniku prepoznavanja kritičnog praga tokom vežbanja, direktno u mišiću koji je angažovan (Ferrari, Muthalib, & Quaresima, 2011; McManus, Collision, & Copper, 2018). Ipak, u nekim istraživanjima nisu potvrđene te tendencije, što može biti posledica različitih test protokola, i različitog stanja utreniranosti ispitanika. Dalje, važno je napomenuti da debljina kožnog nabora, koja može biti različita u odnosu na pol i trenajni status, značajno utiče na svetlosne signale koje koristi oksimetar.

Prednost oksimetrije može da se posmatra kroz prepoznavanje pragova opterećenja neinvazivnom metodom i dobijanjem potrebnih informacija u specifičnim aktivnostima, odnosno praćenjem rada specifične muskulature. Što se tiče podataka koje obezbeđuje ova metoda, prelomna tačka koncentracije oksihemoglobina može da se posmatra kao stanje u kojoj dostupnost i korišćenje kiseonika više nije stabilno, a smanjenje oksihemoglobina u mitohondriji mišića ukazuje na to da taj mišić troši više kiseonika nego što je dostupno. Dalje, pri nižem opterećenju razlika između oksihemoglobina i dezoksihemoglobina može da se koristi kao pokazatelj opterećenja koje predstavlja prvi laktatni prag, stanje u kojem radni mišići još uvek nisu dostigli gornji prag korišćenja kiseonika iz krvi, ali ograničenja u dostupnosti kiseonika dovode do pojave laktane acidoze.

Rezultati prethodnih studija podržavaju korišćenje mišićne oksimetrije kao validne metode prepoznavanja respiratornog kapaciteta mišića, a rezultati dobijeni ovom metodom dobro koreliraju sa podacima koji su dobijeni praćenjem vrednosti laktata u krvi i razmenom gasova. Pored pomenutih ograničenja, koja se mogu otkloniti pažljivim odabirom ispitanika i primenom adekvatnog test protokola, mišićna oksimetrija ima i svojih prednosti. Ova metoda predstavlja neinvazivnu metodu, koja omogućava uvid u trenutno stanje kiseonika na nivou mitohondrija radne muskulature. Lakša je za primenu u kontekstu praćenja i beleženja rezultata, i predstavlja proceduru koja je specifična, odnosno moguće je posmatrati sportistu u realnim uslovima bliskim aktuelnom sportu. Softver instrument memoriše vrednosti praćenih markera opterećenja čime se omogućava njihova naknadna evaluacija.

## IZJAVA

*Autori su svojim izjavama potvrdili nepostojanje bilo kakvog sukoba interesa.*

## LITERATURA

- Addabbo, F., Ratli, B., Park, H.C., Kuo, M. C., Ungvari, Z., Ciszar, A., Krasnikof, F., Sodhi, K., Zhang, F., Nasjletti, A., et al. (2009). The Krebs cycle and mitochondrial mass are early victims of endothelial dysfunction: Proteomic approach. *American Journal of Pathology*, 174, 34–43.
- Aziz, A. R., Chia, M., & Teh, K. C. (2000). The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance

- indices in field hockey and soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(3), 195–200.
- Bhambhani, Y. M., Buckley, S. M., & Susaki, T. (1997). Detection of ventilator threshold using near infrared spectroscopy in men and women. *Medicine and Science of Sports Exercise*, 29(3), 402–409.
- Billat, V. L., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., & Koralsztejn, J. P. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 2089–2097.
- Boone, J., Barstow, T. J., Celie, B., Prieur, F., & Bourgois, J. (2015). The impact of pedal rate on muscle oxygenation, muscle activation and whole-body  $\text{VO}_2$  during ramp exercise in healthy subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 115, 57–70.
- Coen, P. M., Jubrias, S. A., Distefano, G., Amati, F., Mackey, D. C., Glynn, N. W., Manini, T. M., Wohlgenuth, S. E., Leeuwenburgh, C., Cummings, S. R. (2013). Skeletal muscle mitochondrial energetics are associated with maximal aerobic capacity and walking speed in older adults. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 68, 447–455.
- Ferrari, M., Muthalib, M., & Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 369, 4577–4590.
- García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Carrasco, L., Díaz, A., & Izquierdo, M. (2009). Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *European Journal of Applied Physiology*, 106, 629–638.
- Grassi, B., & Quaresima, V. (2016). Near-infrared spectroscopy and skeletal muscle oxidative function in vivo in health and disease: a review from an exercise physiology perspective. *Journal of Biomedical Optics*, 21, 091313.
- Grassi, B., Quaresima, V., Marconi, C., Ferrari, M., & Cerretelli, P. (1999). Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *Journal of Applied Physiology*, 87(1), 348–355.
- Keir, D. A., Fontana, F. Y., Robertson, T. C., Murias, J. M., Paterson, D. H., Kowalchuk, J. M., et al. (2015). Exercise Intensity Thresholds: Identifying the Boundaries of Sustainable Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47, 1932–1940.
- Mann, T. N., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2014). High responders and low responders: factors associated with individual variation in response to standardized training. *Sports Medicine*, 44, 1113–1124.
- McCully, K. K., & Hamaoka, T. (2000). Near-infrared spectroscopy: what can it tell us about oxygen saturation in skeletal muscle? *Exercise and Sports Science*, 28(3), 123–127.
- McLaughlin, J. E., Howley, E. T., Bassett, D. R., Thompson, D. L., & Fitzhugh, E. C. (2010). Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 991–997.
- McManus, C. J., & Cooper, C. E. (2018). Performance comparison of the MOXY and PortaMon near-infrared spectroscopy muscle oximeters at rest and during exercise. *Journal of Biomedical Optics*, 23(1), 015007.
- Miura, T., Takeuchi, T., Sato, H., et al. (1998). Skeletal muscle deoxygenation during exercise assessed by near-infrared spectroscopy and its relation to expired gas analysis parameters. *Japanese Circulation Journal*, 62(9), 649–657.
- Moalla, W., Dupont, G., Berthoin, S., & Ahmaidi S. (2005). Respiratory muscle deoxygenation and ventilatory threshold assessments using near infrared spectroscopy in children. *International Journal of Sports Medicine*, 26(7), 576–582.
- Murias, J. M., Keir, D. A., Spencer, M. D., & Paterson, D. H. (2013). Sex-related differences in muscle deoxygenation during ramp incremental exercise. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 189, 530–536.
- Noakes, T. (2001). *Lore of Running*, 4th edn. Champaign, IL: Human Kinetics, 282–284.
- PortaMon leaflet, dostupno na [www.artinis.com/portamon](http://www.artinis.com/portamon)
- Scharhag-Rosenberger, F., Walitzek, S., Kindermann, W., & Meyer, T. (2012). Differences in adaptations to 1 year of aerobic endurance training: individual patterns of nonresponse. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 22, 113–118.
- Seiler, K. S., & Kjerland, G. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*, 16, 49–56.
- Stöggl, T., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Frontiers in Physiology*, 6, 295.
- Stratton, E., O'Brien, B. J., Harvey, J., Blitvich, J., McNicol, A. J., Janissen, D., et al. (2009). Treadmill velocity best predicts 5000-m run performance. *International Journal of Sports Medicine*, 30, 40–45.
- Trovato, F. M., Imbesi, R., Conway, N., & Castrogiovanni, P. (2016). Morphological and Functional Aspects of Human Skeletal Muscle. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 1, 289–302.
- Wang, B., Tian, Q., Zhang, Z., & Gong, H. (2011). Comparisons of local and systemic aerobic fitness parameters between fin swimmers with different athlete grade levels. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 567–578.
- Wang, B., Xu, G., Tian, Q., Sun, J., Sun, B., Zhang, L., et al. (2012). Differences between the Vastus Lateralis and Gastrocnemius Lateralis in the Assessment Ability of Breakpoints of Muscle Oxygenation for Aerobic Capacity Indices During an Incremental Cycling Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11, 606–613.
- Wolpern, A. E., Burgos, D. J., Janot, J. M., & Dalleck, L. C. (2015). Is a threshold-based model a superior method to the relative percent concept for establishing individual exercise intensity? A randomized controlled trial. *BMC Sports Science Medicine and Rehabilitation*, 7, 16.
- Zwaard, S., Jaspers, T. S., Blokland, J., Achterberg, C., Visser, J. M., Uil, A. R., Hofmijster, M. J., Levels, K., Noordhof, D. A., Haan, A., Koning, J. J., van der Laarse, W. J., & de Ruiter, C. J. (2016). Oxygenation Threshold Derived from Near-Infrared Spectroscopy: Reliability and Its Relationship with the First Ventilatory Threshold. *PLoS ONE*, 11(9), 1–16.

Datum prijave: 22. 06. 2021.

Datum prihvatanja: 30. 06. 2021.

## **Kontakt**

Bojan Međedović, Fakultet za sport i turizam, Novi Sad

E-mail: [bojan.medjedovic@tims.edu.rs](mailto:bojan.medjedovic@tims.edu.rs)

Jovan Plećaš, Fakultet za sport i turizam, Novi Sad

E-mail: [jovan.plecas@tims.edu.rs](mailto:jovan.plecas@tims.edu.rs)