



Anton Ušaj¹,
Sepe A.², Serša I.²

Razlike v trajanju dinamičnega krčenja mišic z uporabo dveh intervalov krčenja in sproščanja

Differences in duration of dynamic contractions influenced by two contraction and relaxation intervals

Izvleček

Cilj naloge je bil ugotoviti morebitne razlike med dvema različnima krčenjema: enim z izmenjujočima se enosekundnim intervalom (1 : 1) ter drugega, z dvosekundnim intervalom krčenja in sprostitve (2 : 2), če mišice podlakti obremenimo z 15 kp. V ta namen sta dve skupini: 6 in 11 preiskovancev opravili stiskanje gumijastega obroča v zapestju do utrujenosti, in sicer s krčenjema 1 : 1 in 2 : 2. Mišična presnova je bila merjena z MRS (magnetna resonančna spektroskopija) in NIRS (bližnja infrardeča spektroskopija). Merjene so bile vsebnosti kreatin fosfata (CrP) in kazalci oksigenacije v mišici. Izračunane so fluktuacije oksigenacijskih kazalcev. Rezultati ne kažejo razlik v trajanju obeh krčenj, čeprav kaže krčenje 1 : 1 izrazito tendenco krajšega trajanja (337 ± 249 s) v primerjavi z 2 : 2 (578 ± 271 s). Tudi kazalci presnove ne razlikujejo obeh vrst krčenj. Toda fluktuacije oksigeniranega hemoglobina (O_2Hb), pri 1 : 1 in pri 2 : 2 kažejo jasno tendenco po večjih vrednostih pri krčenjih 2 : 2. Mogoče je zaključiti, da sta si krčenja 1 : 1 in 2 : 2 dokaj podobni. Toda jasna tendenca po bolj izraženih fluktuacijah oksigeniranega hemoglobina pri krčenjih 2 : 2 nakazuje, da mišica poskuša privzeti več kisika, ki ji ga omogoča daljši interval sprostitve. Pri tem kaže tendenco po podaljšanju trajanja krčenja do utrujenosti.

Gljučne besede: vzdržljivost v moči, MRS, NIRS, dinamično krčenje, mišice podlahti.

Abstract

Possible differences between two dynamic contractions to fatigue: the one sec and 15 kp contraction followed by one sec relaxation intervals (1:1) and two sec 15 kp contraction followed by two sec relaxation (2:2) were studied. Two groups of 6 and 11 subjects performed 1:1 and 2:2 exercises of squeezing of rubber ring, to fatigue. Muscle metabolism was estimated by MRS (magnetic resonance spectroscopy) and NIRS (near infrared spectroscopy). Creatin phosphate (CrP) and parameters of muscle oxygenation were measured. Fluctuation characteristics of oxygenation parameters were calculated. Results shows that used exercises 1:1 (337 ± 249 s) and 2:2 (578 ± 271 s) were not different in their duration in spite of a clear tendency that 2:2 became longer. In according to these results also metabolic parameters weren't different. However, fluctuations of oxygenated hemoglobin (O_2Hb) at 1:1 and at 2:2 has shown a clear tendency for larger fluctuations of muscle oxygenation in 2:2. It may be concluded that muscle tried to enhance its oxygen consumption during larger (2 s) relaxation. The possible effect of this phenomenon may be tendency for enhancement of exercise duration.

Key words: strength endurance, NMR, NIRS, dynamic contraction, forearm muscles.

Uvod

Sila zavestnega krčenja neke mišice je največja tedaj, ko je začetna dolžina te mišice tolikšna, da omogoča največje število sklopov med aktinskimi in miozinskimi vlakni v časovni enoti. Takšno krče-

nje je izometrično in lahko traja le kratek čas. Če želimo trajanje izometričnega krčenja podaljšati, potem moramo nujno znižati silo krčenja. Njuna odvisnost se spreminja po hiperboli, katere asimptota pomeni vsaj teoretično tisto silo, pri kateri bi bilo trajanje neskončno. Trajanje se podaljša predvsem zaradi tega, ker se ob znižanju tlaka v mišici povečata pretok in perfuzija s krvjo. Pri tem se poveča tudi oksigenacija mišice (Ušaj, 2002). Podoben učinek, toda pri enaki sili izometričnega krčenja, ima tudi vadba

¹Laboratorij za biodinamiko, Fakulteta za šport, Univerza v Ljubljani,
²Laboratorij za slikanje z magnetno resonance, Odsek za fiziko trdne snovi, Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana.

vdržljivosti v moči pri 30–40 % največjega izometričnega krčenja (Ušaj, 2001).

Nekoliko drugačno je dinamično krčenje mišice, za katerega velja podobna odvisnost s trajanjem. Najpomembnejša razlika v primerjavi z izometričnim krčenjem je v trajanju takšnega krčenja pri enaki sili. Dinamično krčenje lahko traja dlje časa. Kako velika razlika bo v trajanju obeh krčenj, je odvisno od več dejavnikov. Pomemben dejavnik predstavljata interval krčenja in interval sproščanja mišice. Medtem ko je mišica v interval krčenja, se v njeni notranjosti poveča tlak, ki povzroči zmanjšanje odprtega števila kapilar (razporeditev perfuzije v mišici). Poveča se upor krvi skozi mišico, zato se posledično znižata perfuzija in pretok krvi (van Beekvelt idr., 2001). Mišica postane bolj zaprt sistem. V interval sprostitve pa se prej povečan tlak zniža, zmanjša se upor krvi skozi mišico, poveča pretok in mišica postane bolj odprt sistem. S primerjanjem izometričnega krčenja z dinamičnim, pri katerem sta interval krčenja in sproščanja znašala po 1 sekundo (1 : 1), smo ugotovili, da se krčenje pri dinamičnem krčenju podaljša ob povečanju oksigenacije v mišici (Ušaj A., neobjavljeno). Še večja razlika pa je nastala, ko je neprekinjeno visenje na lednih cepinih pri alpinistih zamenjala intervalna obremenitev, pri kateri sta se visenje in odmor izmenjevala v 30 sekundnih intervalih. Tudi pri tem poskusu se je povečala oksigenacija mišice (Ušaj idr., 2007).

Frekvenca, s katero se izmenjujeta interval krčenja in sprostitve, pomembno učinkuje tudi na presnovo mišice. Vlogi presnove iz aerobnega in anaerobnega vira se izmenjujeta tako, da je med intervalom krčenja bolj poudarjen anaerobni, v odmoru pa aerobni, tudi odvisno od tega, kako dolga sta oba intervala (Hamann idr., 2003). Ker je najrazličnejših kombinacij, pri katerih je smiselno opazovati tovrstne pojave veliko, nas je zanimalo predvsem dogajanje med kratkotrajnimi intervali ene in dveh sekund. Poskušamo namreč opazovati, kdaj in zakaj postane zmogljivost krčenja v zapestju različna (dalja ali krajša), če spreminjamo interval krčenj in sproščanj, njuno razmerje pa ostane enako. Zato predvidevamo, da se bo pri nekih kombinacijah dinamičnega krčenja pojav podaljšanja krčenja zopet zgodil. Ne vemo pa, pri kateri kombinaciji krčenj in sproščanj se bo to zgodilo, niti ali bi enak mehanizem (povečanje perfuzijske distribucije krvi v mišici) povzročil razlike.

Torej je bil glavni cilj naloge ugotoviti morebitne razlike med dvema dinamičnima krčenjema do utrujenosti. Zanimalo nas je, ali bi bilo mogoče morebitne razlike v trajanju tega krčenja razložiti z opazovanjem energijskih procesov in oksigenacije v obremenjenih mišicah.

Metode

V preiskavah sta sodelovali dve skupini zdravih preiskovancev, ki so prostovoljno pristali na sodelovanje pri poskusu. Njihova starost: 22 ± 2 leti in 24 ± 3 leta, ter telesna masa (TM) 67 ± 5 kg in 68 ± 6 kg se nista razlikovali med skupinama. Nihče med preiskovanci se ni načrtno ukvarjal z vadbo, posebej ne z vadbo moči rok, kljub temu da so bili fizično dejavni.

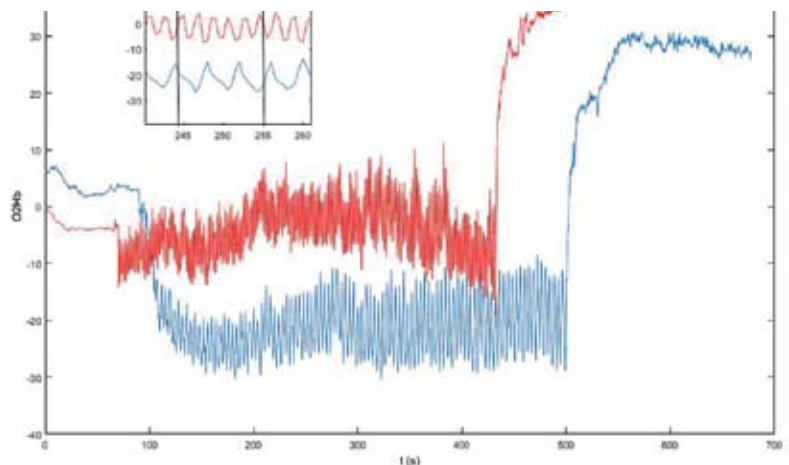
Obe skupini sta opravili nalogo stiskanje gumijastega obroča do utrujenosti s silo 15 kp. Skupina "1 : 1" je opravljala interval krčenje in sproščanja tako,

da je bila mišica 1 s skrčena, eno sekundo pa sproščena. Skupina "2 : 2" pa je enako nalogo opravljala z izmenjavo 2 s intervalov krčenja in sproščanja mišice. Ritem krčenja in sproščanja je narekoval metronom. Vsak preiskovanec je nalogo opravljal dvakrat: enkrat z meritvijo MRS in enkrat z meritvijo NIRS. Vmes je bil nekajdnevni presledek. Vrsten red meritev je bil naključen. Pri analizi smo uporabili daljši čas krčenja izmed obeh nalog.

Magnetna resonančna spektroskopija (MRS). V superprevodnem magnetu se spini feromagnetnih atomov uredijo. Lahko pa jih zmotimo s specifičnimi radijskimi frekvencami za zelo kratek čas in opazujemo značilnosti vračanja v prvoten spin. Izračunani spekter je nadalje uporabljen za izračunanje vsebnosti nekaterih tipičnih substratov in produktov v energijskih procesih. Opazovali smo fosforjev (P) spekter. V njem je mogoče opazovati spremembe CrP, Pi in pH mišice (McCully idr., 1991). Izmerjenim vrednostim smo sledili v 1 min intervalih. Podroben opis tehnologije MRS je navedene drugje (McCully idr., 1991).

Bližnje infrardeča spektroskopija (NIRS). Princip delovanja NIRS temelji na različni absorpciji svetlobe, ki osvetli oksigeniran ali deoksigeniran hemoglobin. Pri tem je uporabljena laserska svetloba s točno določenima valovnima dolžinama: 760 in 840 nm, s katero je bila osvetljena mišica, v prostoru približno 3 cm^3 in do približne globine 3–4 cm. Ko svetloba prodre v notranjost mišice se en del absorbira, del pa se zazna na senzorju, ki se nahaja 4 cm od vira svetlobe. Po prilagojenem Beer-Lambertovem zakonu se izračuna spremembe v oksigeniranem hemoglobin (O_2Hb), deoksigeniranem hemoglobin (HHb) in spremembe v prostornini krvi v mišici (tHb). Spremembam smo sledili s frekvenco 2 Hz. Podrobnejši opis tehnologije je opisan drugje (Ferrari idr., 2004, Kalliokoski idr., 2006).

Pri opazovanju dinamičnega krčenja opazimo fluktuacije kazalcev, ki jih povzroča izmenjava med krčenjem in sproščanjem mišice (Slika 1). Z računanjem razlike med najvišjo in najnižjo vrednostjo v vsakem ciklu krčenja in sproščanja mišice (diff) pri O_2Hb , HHb in tHb smo v intervalih po prvi, drugi, tretji in četrti minuti ter ob koncu naloge opazovali morebitne spremembe v omenjenih razlikah ter morebitne razlike med obema krčenjema 1 : 1 in 2 : 2. Pri tem smo uporabili MatlabR2015b (Mathworks, ZDA).

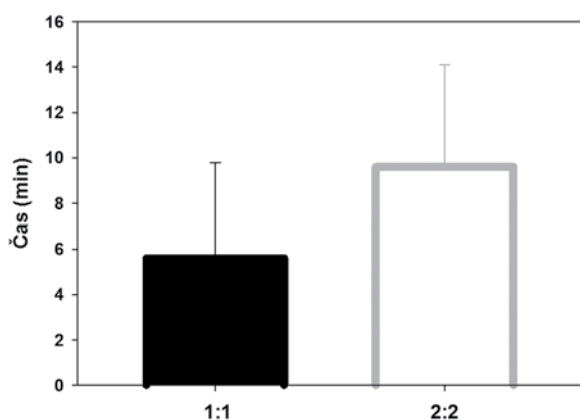


Slika 1. Časovni potek sprememb relativnih vrednosti oksigeniranega hemoglobina (O_2Hb) med 1 : 1 (rdeča črta) in 2 : 2 (modra črta). V manjšem grafikonu je opaziti razliko med obema krčenjema v povečanem merilu. Fluktuacije (diff O_2Hb) so izračunane kot razlike med vrhovi in najnižjimi vrednostmi posameznega cikla krčenja in sproščanja.

Razlike med obema krčenjema so izračunane s primerjavo povprečnih vrednostih v 1 min intervalih, in sicer po 1., 2., 3., in 4. min ter ob koncu naloge, ko se je pojavila utrujenost. Za primerjavo smo uporabili analizo variance za ponovljene vzorce z dvema faktorjema: različnima načinoma krčenja (1 : 1 in 2 : 2) ter opazovanim intervalom. Posebej smo še uporabili primerjave vrednosti med obema vzorcema s pomočjo t-testa. V ta namen je bil uporabljen SigmaPlot11 (SigmaStat, ZDA). Kot mejno vrednost statistične značilnosti smo upoštevali $p = 0.05$.

Rezultati

Trajanje mišičnega krčenja 1 : 1 je znašalo 337 ± 249 s, trajanje krčenja 2 : 2 pa 578 ± 271 s (Slika 2). Kljub temu da se kaže jasna tendenca, da je bilo krčenje 2 : 2 daljše, pa razlike niso bile dovolj velike, da bi postale statistično pomembne ($p = 0.11$).



Slika 2. Razlike med krčenjema 1:1 in 2:2 nista statistično značilni, čeprav je tendenca razlik med njima izražena.

CrP se pri obeh načinih krčenja spreminja zelo podobno. Tako ni opaziti razlik med obema načinoma krčenja (Slika 3).

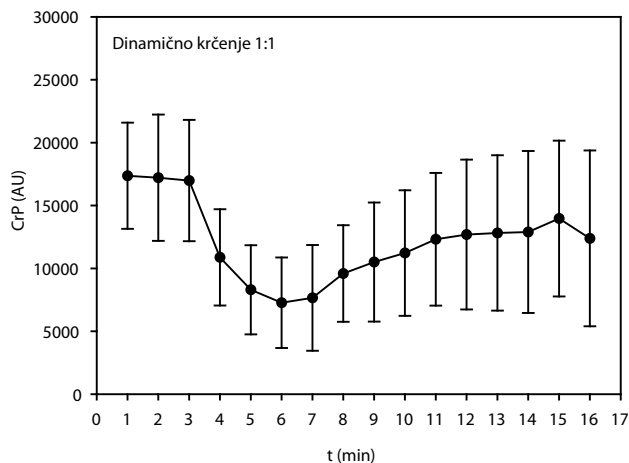
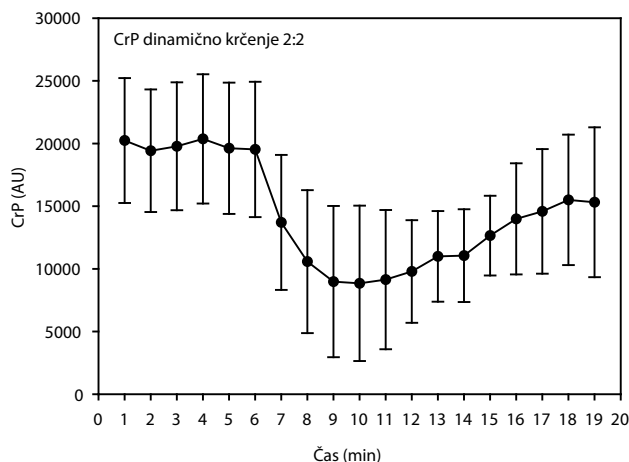
Pri opazovanju O_2Hb , HHb in tHb nismo opazili nobenih značilnih razlik (Slika 4).

Primerjava fluktuacij (diff) med opazovanimi kazalci tudi ni dala značilnih razlik. Toda opaziti je izraženo tendenco povečanja fluktuacij O_2Hb (diff O_2Hb) pri 2 : 2.

Ob koncu krčenja, ko je nastopila utrujenost, ni opaziti nobenih razlik pri nobenem od kazalcev oksigenacije v mišicah. V tem trenutku so preiskovanci opravljali nalogo z največjim naporom.

Razprava

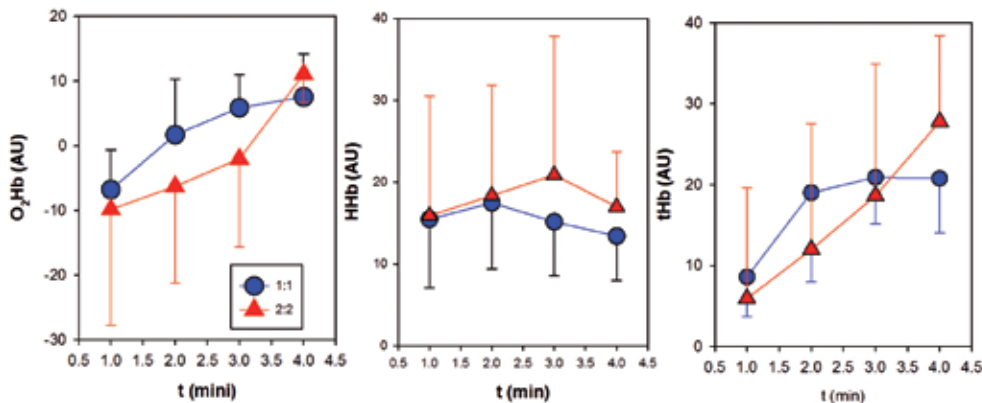
Cilj poskusa je bil pojasniti, ali dve vrsti različnih dinamičnih krčenj mišic pri stiskanju zapetja povzročata različen trenutek utrujenosti. Ugotovili smo, da izmenjava mišičnih krčenj in sproščanj v intervalih ene (1 : 1) ali dveh (2 : 2) sekund ne povzroča značilnih razlik v trajanju naloge, čeprav obstaja tendenca, da bi naloga 2 : 2 omogočala daljši napor, to je več ponovitev. Podobno nismo ugotovili nobene značilne razlike v spremembah kreatin fosfata (CrP) in kazalcev oksigenacije mišice (O_2Hb , HHb, tHb) ter njihovih fluktuacij (diff O_2Hb , diff HHb in diff tHb). Kljub temu opažamo jasno tendenco po bolj izraženih fluktuacijah O_2Hb (diff O_2Hb) pri



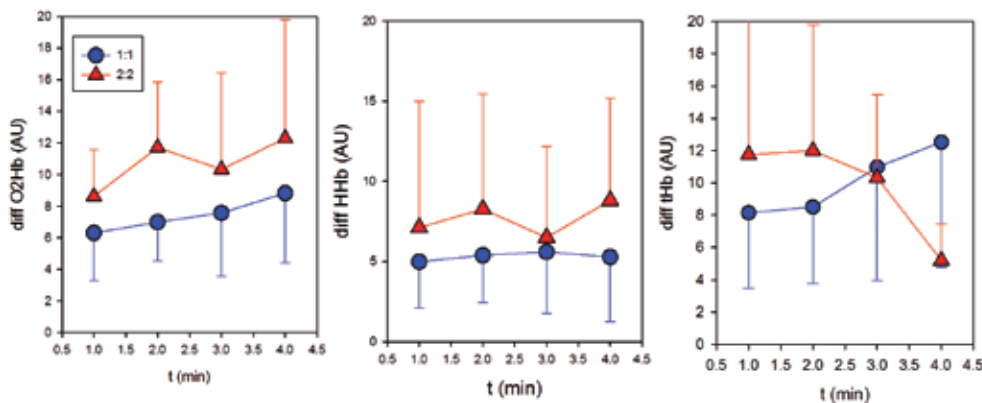
Slika 3. Časovni potek CrP med 1 : 1 in 2 : 2 krčenjema. Časovna poteka sta zelo podobna in se med seboj ne razlikujeta.

krčenju 2 : 2. Izgleda, da bi nadaljnje podaljšanje intervalov krčenja in sproščanja pri nespremenjenem razmerju med obema lahko prispevalo k podaljšanju trajanja naloge do utrujanja.

Primerjava različnih vrst dinamičnega krčenja narekuje dokaj veliko standardizacijo protokola. Primerjava rezultatov različnih mišic je neprimerna (van Beekvelt idr., 2001). Ravno tako je pomembno, da je sila krčenja natančno izbrana. Mišični pretok krvi in perfuzija sta namreč različna pri silah okrog 10–20 % največje izometrične sile in pri silah, ki znašajo več kot 30 % največje izometrične sile, pa čeprav sta krčenje in sproščanje kratkotrajna in enaka (Hugson idr., 1996). Glede na največjo izometrično silo, ki je znašala 53 ± 9 kp pri skupini 1 : 1 in 53 ± 3 kp pri skupini 2 : 2, je relativna sila pri uporabljenem naporu znašala okrog 30 % največje izometrične sile. Pri takšni sili smo pričakovali bolj izražene razlike med obema krčenjema, saj je v intervalu krčenja pričakovana kratkotrajna, toda izražena okluzija. Morebiti je tudi to razlog, da se je pojavila tendenca po bolj izraženih spremembah v O_2Hb (diff O_2Hb) pri nalogi 2 : 2. To se je namreč lahko zgodilo le v intervalih sprostitve mišice. Ker je vsebnost deoksigeniranega hemoglobina podobna, torej se privzem kisika ni spremenil, saj se tudi sila krčenja ni spremenila, kaže pa se tendenca po povečani oksigenaciji, lahko predvidevamo smiselnost nadaljevanja poskusov pri petsekundnih, morebiti še daljših intervalih. Če sklepamo iz časovnega poteka sprememb O_2Hb (Slika 1, manjša slika), potem je spreminjanje bolj dinamično



Slika 4. Razlike med 1 : 1 in 2 : 2 v O₂Hb, HHb in tHb vrednostmi po 1., 2., 3. in 4. min. Vrednosti so podane kot aritmetična sredina ± SD. Med vrednostmi ni opaziti značilnih razlik.



Slika 5. Razlike med fluktuacijami O₂Hb (diff O₂Hb), HHb (diff HHb) in tHb (diff tHb) niso značilne. Toda opazna je jasna tendenca po različnosti diff O₂Hb. Vrednosti so podane kot aritmetične sredine ± SD.

v intervalu krčenja mišice in počasnejše med sprostitvijo. Podaljšanje intervalov obeh bi lahko v večji meri učinkovalo na O₂Hb v intervalu sprostitve, ko so spremembe verjetno počasnejše.

Literatura

- Ferrari, M., Mottola, L. in Quaresima, V. (2004). Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Ca, J Appl Physiol*, 463–487.
- Hamann, J., Valic, Z., Buckwalter, J. B. in Clifford, P. S. (2003). Muscle pump does not enhance blood flow in exercising skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 94, 6–10.
- Hugson, R. L., Shoemaker, J. K., Tschakovsky, M. in Kowalchuk, J. M. (1996). Dependence of muscle Vo₂ on blood flow dynamics at the onset of forearm exercise. *J Appl Physiol*, 1619–1626.
- Kalliokoski, K. K., Scheede-Bergdahl, C., Kjaer, M. in Boushel, R. (2006). Muscle perfusion and metabolic heterogeneity: insights from non-invasive imaging techniques. *Exercise and sport sciences reviews*, 164–170.
- McCully, K. K., Kakihiro, H., Vandenborne, K. in Kent-Braun, J. (1991). Non-invasive measurements of activity-induced changes in muscle metabolism. *J. Biomechanics*, 153–161.
- Patz, S. (1986). Basic Physics of Nuclear Magnetic Resonance. *Cardio-vasc Intervent Radiol*, 225–237.
- Ušaj, A. (2001). The endurance training effect on the oxygenation status of an isometrically contracted forearm muscle. *Pflugers Archiv*(6, suppl.), R155–156.
- Ušaj, A. (2002). Difference in the oxygenation of the forearm muscle during isometric contraction in trained and untrained subjects. *Cellular & molecular biology letters*, 7(2), 375–377.
- Ušaj, A., Jereb, B., Pritrznik, R. in Duvillard, S. P. (2007). The influence of strength-endurance training on the oxygenation of the isometrically contracted forearm muscle. *European journal of applied physiology*, 100(6), 685–692.
- van Beekvelt, M. C., Shoemaker, J. K., Tschakovsky, M. E., Hopman, M. T. in Hughson, R. L. (2001). Blood flow and muscle oxygen uptake at the onset and end of moderate and heavy dynamic forearm exercise. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol*, 280(R1741–R1747).

prof. dr. Anton Ušaj
Laboratorij za biodinamiko
Fakulteta za šport
Gortanova 22
1000 Ljubljana