



Manca Opara¹,
Tamara Logar¹, Nejc Šarabon¹

Vrednotenje mišično-skeletnih in srčno-dihalnih obremenitev med vadbo v vodi – pregled področja

Izvleček

Priljubljenost vadbe v vodi se je v zadnjih dveh desetletjih znatno povečala, kar je verjetno posledica pozitivnih lastnosti vodnega okolja – sile vzgona in sile upora. Medtem ko prva pripomore k razbremenitvi telesa in lažjemu izvajanju vaj, lahko drugo med vadbo v vodi izkoriščamo za krepitev mišic in večjo porabo energije. Za učinkovito izkoriščanje prednosti vodnega okolja je ključno poznavanje mišično-skeletnih (MSO) in srčno-dihalnih obremenitev (SDO), ki jim je telo izpostavljeno v vodi. Namen tega prispevka je bil sistematično pregledati članke z opisom raziskav, pri katerih so merili MSO ali SDO med vadbo v vodi oziroma med potopitvijo v vodo. Podrobneje smo predstavili značilnosti in ključne rezultate raziskav, ki so med vadbo v vodi merile sile reakcije podlage, mišično aktivnost in SDO. Predstavili smo tudi priložnosti za nadaljnje razvojno-raziskovalno delo na področju merjenja obremenitev med vadbo v vodi. Ugotavljamo, da se kaže potreba po dodatnih raziskovalnih ali preglednih člankih, ki bi pripomogli k oblikovanju z dokazi podprte prakse vadbe v vodi.

Ključne besede: vadba v vodi, mišično-skeletne obremenitve, srčno-dihalne obremenitve, sila reakcije podlage, mišična aktivnost



Assessment of musculoskeletal and cardiorespiratory loads during water exercise: an overview of the field

Abstract

The popularity of water exercise has increased significantly over the last two decades, probably due to the positive properties of water: buoyancy and resistance force. While buoyancy helps to relieve the body and make exercises easier to perform, resistance can be used to strengthen muscles and increase energy expenditure when exercising in water. Effective utilization of the benefits of water requires an understanding of the musculoskeletal (MSL) and cardiorespiratory loads (CRL) to which the body is exposed in water. The aim of this paper was to systematically review articles in which MSL or CRL were measured during exercise or immersion in water. We provided detailed insights into the characteristics and main findings of studies measuring ground reaction forces (GRF), muscle activity (MA) and CRL during exercise in water. We also presented opportunities for further developmental research in the field of measuring loads during exercise in water. We recognize the need for additional research or review articles that would contribute to the establishment of evidence-based practices in aquatic exercise.

Keywords: water exercise, musculoskeletal loads, cardiorespiratory loads, ground reaction force, muscle activity

¹Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju, Polje 42, SI-6310, Izola

Uvod

Vadba v vodi je za namen tega članka opredeljena kot kakršnakoli telesna aktivnost, ki se izvaja med delno potopitvijo telesa v vodi in ne izključuje plavanja. Priljubljenost vadbe v vodi se je v zadnjih dveh desetletjih znatno povečala, kar je verjetno posledica pozitivnih lastnosti vodnega okolja (Ochoa Martínez idr., 2014; Raffaelli idr., 2016). V vodnem okolju na človeško telo delujeta sili vzgona in upora (Pereira Neiva idr., 2018; Pöyhönen idr., 2002). Sila vzgona zmanjša kompresijske sile v sklepih in navidezno odvzame del telesne teže glede na delež potopljenega telesa, to pa omogoča lažje in manj boleče izvajanje vaj pri osebah, ki trpijo za različnimi zdravstvenimi stanji, kot so osteoartritis, fibromialgija in debelost (Pippi idr., 2022; Song in Oh, 2022; Tsourlou idr., 2006; Vinod Kumar, 2015; Zamunér idr., 2019). Sila vzgona je sorazmerna s prostornino potopljenega telesa in obratno sorazmerna z relativno gostoto (tj. količnik mase telesa in mase vode pri 4 °C enakega volumna) (Edlich idr., 1987). Sila vzgona spodbuja gibanje navzgor (proti vodni gladini) in zavira gibanje navzdol (Heywood idr., 2016). Medtem ko sila vzgona deluje v nasprotni smeri od sile teže, sila upora nasprotuje gibanju telesa in otežuje premikanje telesa v vodi v vseh smereh (Cuesta-Vargas in Cano-Herrera, 2014). Večja sta hitrost gibanja in prečni presek premikajočega telesa, večje je delovanje sile upora (Edlich idr., 1987; Pöyhönen idr., 2000). Pri vadbi v vodi lahko silo upora izkoriščamo za namen krepitev mišic in večje porabe energije. Zaradi višje temperature vodno okolje prispeva tudi k sprostitvi mišic, zmanjšanju mišične togosti in umirjanju aktivnosti simpatičnega živčnega sistema (Becker, 2009; Song in Oh, 2022). Pozitivne lastnosti vodnega okolja se v obliki vadbe v vodi lahko izkoriščajo tako pri pacientih v okviru terapije in rehabilitacije kot tudi pri zdravih posameznikih za namen zdravstvene preventive in rekreacije (Faíl idr., 2022).

Za ustrezno načrtovanje in izvajanje vadbe v vodi je pomembno razumevanje obremenitev, ki jim je človeško telo izpostavljeno v vodnem okolju (Becker, 2009). Poznavanje razlik pri mišično-skeletnih obremenitvah (MSO) in srčno-dihalnih obremenitvah (SDO) med različnimi načini izvajanja vadbe v vodi ter med vadbo v vodi in tisto na suhem je ključno za učinkovito izkoriščanje prednosti vodnega okolja. Člankov, ki bi predstavili obseg in značilnosti raziskav na temo merjenja MSO ali SDO

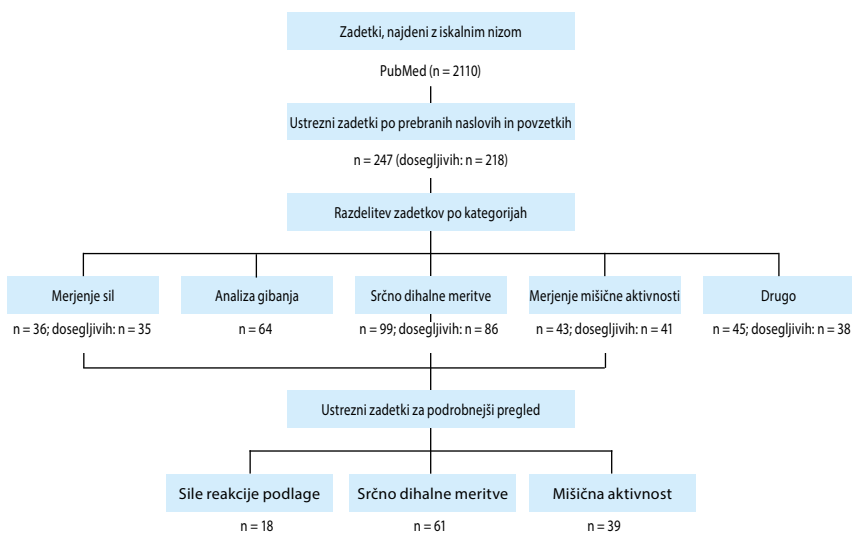
med potopitvijo telesa ali vadbo v vodi, nismo zasledili. Namen tega prispevka je sistematični pregled člankov o raziskavah, pri katerih so merili MSO ali SDO med vadbo v vodi oziroma med potopitvijo v vodo. Podrobneje bomo predstavili značilnosti in ključne rezultate raziskav, ki so med vadbo v vodi merile silo reakcije podlage (SRP), mišično aktivnost (MA) in SDO. Pregled nad področjem merjenja obremenitev med vadbo v vodi nam bo pomagal pri prepoznavanju priložnosti za smiselno nadaljnje razvojno-raziskovalno delo, s katerim bi prispevali k oblikovanju z dokazi podprte prakse vadbe v vodi.

Metode

Članke smo 12. 12. 2023 poiskali v podatkovni bazi PubMed. Pri iskanju člankov smo uporabili ključne besede, povezane z vadbo v vodi oziroma vodnim okoljem in merami izida, ki opišejo SDO ter MSO. Uporabili smo naslednji iskalni niz: („in water“[TI] OR „in aqua“[TI] OR „water-based“[TI] OR „aquatic-based“[TI] OR „water environment“[TI] OR „aquatic environment“[TI] OR „underwater“[TI] OR „water training“[TI] OR „water sports“[TI] OR „aquatic activity“[TI] OR „water aerobics“[TI] OR aquaerobics[TI] OR aquatics[TI] OR „water exercise“[TI] OR „aquatic exercise“[TI] OR „pool exercise“[TI] OR „water therapy“[TI] OR „aquatic therapy“[TI] OR hydrotherapy[TI] OR „hydrokinetic therapy“[TI] OR „aquatic physical therapy“[TI] OR „pool therapy“[TI] OR „aquatic physiotherapy“[TI] OR „aquatic rehabilitation“[TI] OR „water rehabilitation“[TI])AND (biomechanic*[TIAB] OR load[TIAB] OR force[TIAB] OR torque[TIAB]

OR kinematic*[TIAB] OR cadence[TIAB] OR „stride length“[TIAB] OR „stance time“[TIAB] OR „muscle act“*[TIAB] OR electromyography[TIAB] OR EMG[TIAB] OR physiological[TIAB] OR cardiorespiratory[TIAB] OR „blood pressure“[TIAB] OR „blood flow“[TIAB] OR haemodynamic[TIAB] OR „heart rate“[TIAB] OR VO2max[TIAB] OR „oxygen uptake“[TIAB] OR „oxygen consumption“[TIAB] OR „aerobic capacity“[TIAB] OR „perceived exertion“ [TIAB]).

Ustrezne članke smo izvozili v Microsoft Excel. Glede na proučevane mere izida smo članke razdelili v pet kategorij: 1) Merjenje sil; 2) Analiza gibanja; 3) Srčno-dihalne meritve; 4) Merjenje mišične aktivnosti; 5) Druge meritve MSO ali SDO. Nekateri članki so ustrezali več kot eni kategoriji. Opravili smo podrobnejši pregled nad značilnostmi raziskav, ki so merile SRP, MA in SDO. V podrobnejši pregled nismo vključili raziskav, pri katerih so preiskovanci med izvajanjem vaj zadrževali dih. Prav tako smo iz podrobnejšega pregleda izključili raziskave, pri katerih so se preiskovanci samo potopili v vodo in ob tem niso izvajali telesne aktivnosti. Iz člankov, vključenih v podrobnejši pregled, smo izpisovali naslednje podatke: značilnosti preiskovancev; oblika telesne aktivnosti, med katero so bile merjene obremenitve; temperatura vode in suhega okolja; globina potopitve; hitrost izvedbe vaj; dodana obremenitev k izvedbi vaj; uporaba opreme pri izvedbi vaj; opravljene primerjave; merjene mišice (pri raziskavah, ki so merile MA); proučevane srčno-dihalne meritve in ključne ugotovitve. Če so bili članki nedostopni, smo z njihovimi avtorji poskušali navezati stik prek elektronske po-



Slika 1. Diagram poteka iskanja člankov in razporejanja člankov v kategorije
Opomba. n = število zadetkov.

šte ali portala ResearchGate. Če 14 dni po drugem opomniku nismo prejeli odgovora, smo podatke šteli za nedosegljive.

■ Rezultati

Za iskalni niz je bilo v podatkovni bazi PubMed skupno 2110 zadetkov. Po prebranih naslovih in povzetkih člankov je bilo ustreznih 247 zadetkov (od tega 218 dosegljivih), ki so zadostovali našim vključitvenim kriterijem. Potek iskanja člankov in razporejanja člankov v kategorije je prikazan na Sliki 1.

Sile reakcije podlage

V raziskavah, ki so proučevale SRP med vadbo v vodi, so bili vključeni predstavniki različnih populacij, in sicer zdravi preiskovanci (15/18), samo ženske (8/18), starejši odrasli (4/18), športniki (4/18) ali samo moški (1/18), nekatere pa so vključevale pripadnike specifičnih skupin, kot so nosečnice, posamezniki z debelostjo, ženske v postmenopavzalnem obdobju in osebe z osteoartritisom kolena (4/18). Najpogostejše so bile meritve izvedene med skoki (9/18), tekom (7/18), hojo (4/18) in brcanjem (4/18). Vadba je bila izvedena v vodnem okolju s temperaturo med 27,5 in 34 °C. Pri večini raziskav so bili preiskovanci med vadbo potopljene do ksifoidnega odrastka (15/18). Raziskave so rezultate meritev primerjale predvsem med vadbo v vodi in vadbo na suhem (13/18), med različnimi vajami, izvedenimi v vodi (8/18), med vajami v vodi, izvedenimi z različnimi kadencami ali hitrostjo gibanja (7/18), med vadbo v vodi ob uporabi različne dodatne opreme (3/18), med pripadniki različnih populacij (3/18) ter med vajami, izvedenimi pri različnih globinah potopitve (4/18).

Raziskave ugotavljajo, da je SRP med vadbo v vodi manjša v primerjavi s SRP med vadbo na kopnem (Alberton idr., 2015, 2024; Barela in Duarte, 2008; Carneiro idr., 2012; Colado idr., 2010; Donoghue idr., 2011; Heywood idr., 2019; Louder idr., 2018, 2019; Miyoshi idr., 2004; Triplett idr., 2009). S povečanjem potopitve telesa se SRP zmanjšuje (de Brito Fontana idr., 2015, 2018; Heywood idr., 2019), medtem ko se pri izvajanju vaj z višjo kadenco oziroma hitrostjo gibanja povečuje (Alberton idr., 2021, 2024; de Brito Fontana idr., 2018; Heywood idr., 2019). Večina raziskav ne zaznava bistvenih razlik v SRP med različnimi vajami, izvedenimi v vodi (Alberton, Bgeginski idr., 2019; Alberton idr., 2024; Colado idr., 2010; Donoghue idr., 2011). Pri skokih v vodi lah-

ko SRP zmanjšamo z uporabo pripomočkov, ki povečujejo silo upora (Triplett idr., 2009), medtem ko je pri teku to mogoče doseči z uporabo vzgonskih pripomočkov (Alberton, Nunes idr., 2019). Med vadbo v vodi je SRP večja pri moških kot pri ženskah (Louder idr., 2019) in pri mlajših odraslih kot pri starejših (Barela in Duarte, 2008; Louder idr., 2018).

Srčno-dihalne meritve

V raziskavah, pri katerih so izvajali srčno-dihalne meritve med vadbo v vodi, so bili vključeni zdravi preiskovanci (55/61), samo ženske (31/61), samo moški (19/61), športniki (6/61) ter pripadniki specifičnih skupin, kot so ženske v postmenopavzalnem obdobju, nosečnice in pacienti s pridruženimi zdravstvenimi stanji (9/61). Največkrat so bile meritve izvedene med tekom (19/61), hojo (14/61) in kolesarjenjem (14/61). Vadba je bila izvedena v vodnem okolju s temperaturo med 25 in 38,6 °C. Pri večini raziskav so bili preiskovanci med vadbo potopljene do ksifoidnega odrastka (27/61). Srčno-dihalne meritve so zajemale predvsem merjenje srčnega utripa (49/61), porabe kisika (45/61) in stopnje zaznane obremenitve (23/61). Raziskave so rezultate meritev primerjale predvsem med vadbo v vodi in vadbo na suhem (33/61), med vajami v vodi, izvedenimi z različnimi kadencami ali hitrostjo gibanja (15/61), med različnimi vajami, izvedenimi v vodi (10/61), med pripadniki različnih populacij (4/61) in med vajami, izvedenimi pri različnih globinah potopitve oziroma v različno topli vodi (8/61). Nekatere raziskave so ugotavljale povezavo med stopnjo zaznane obremenitve in drugimi srčno-dihalnimi merami izida (5/61).

Opažamo precejšnjo heterogenost rezultatov raziskav pri primerjavah SDO med vadbo v vodi in tisto na suhem. Večina raziskav ugotavlja podoben srčni utrip, porabo kisika in zaznana stopnja napora med vadbo v vodi in na suhem (Ayme idr., 2015; Brubaker idr., 2011; Chien idr., 2017; Finkelstein idr., 2011; Greene idr., 2011; Kruehl idr., 2013; Masumoto idr., 2012, 2015, 2018; Melton-Rogers idr., 1996; Perk idr., 1996; Wiesner idr., 2010). Vendar nekatere raziskave kažejo večje SDO med vadbo na suhem (Alberton, Cadore idr., 2011; Alberton idr., 2009; Benelli idr., 2004; Garcia idr., 2017; Masumoto idr., 2013, 2018), druge pa med vadbo v vodi (Cassady in Nielsen, 1992; Chien idr., 2017; Masumoto idr., 2008). Avtorji raziskav opažajo tudi, da so SDO med vadbo v vodi in na suhem primerljive pri manjših hitrostih

gibanja, večje pa postanejo na suhem pri večjih hitrostih gibanja (Masumoto idr., 2015). Z večanjem kadenca oziroma hitrosti gibanja v vodi se srčni utrip, poraba kisika in zaznana stopnja napora povečujejo (Alberton, Cadore idr., 2011; Alberton idr., 2009, 2021; Hall idr., 1998; Masumoto idr., 2013; Shono idr., 2000). Vadba v toplejši vodi povzroči višji srčni utrip (Bergamin idr., 2015). Zaznana stopnja napora med vadbo v vodi je linearno povezana s srčnim utripom in porabo kisika (Alberton, Antunes idr., 2011; Alberton idr., 2016; Shono idr., 2000). Avtorji ugotavljajo podobne SDO med starejšimi in mlajšimi odraslimi ter med nosečnicami in ženskami, ki niso noseče (Finkelstein idr., 2011; Masumoto idr., 2007).

Mišična aktivnost

V raziskavah, pri katerih so proučevali MA med vadbo v vodi, so bili vključeni zdravi preiskovanci (38/39), samo ženske (13/39), samo moški (12/39) in osebe s pridruženimi zdravstvenimi stanji (3/39). Najpogostejše so bile meritve izvedene med hojo (14/39) in tekom (7/39). Vadba je bila izvedena v vodnem okolju s temperaturo med 25 in 34 °C. Pri večini raziskav so bili preiskovanci med vadbo potopljene do ksifoidnega odrastka (19/39). Najpogostejše merjene mišice so bile: biceps femoris (29/39), rectus femoris (27/39), gastrocnemius (22/39) in tibialis anterior (20/39). Raziskave so rezultate meritev primerjale predvsem med vadbo v vodi in vadbo na suhem (18/39), med vajami v vodi, izvedenimi z različnimi kadencami ali hitrostjo gibanja (14/39), med pripadniki različnih populacij (5/39) in med vajami, izvedenimi z različno intenziteto (6/39).

Večina raziskav ugotavlja, da je MA med vadbo v vodi nižja v primerjavi z vadbo na suhem (Alberton, Cadore idr., 2011; Bressel idr., 2011; Cuesta-Vargas, Cano-Herrera, Formosa idr., 2013; Kim idr., 2014; Masumoto idr., 2004, 2018; Phothirook idr., 2023; So idr., 2023; Yuen idr., 2019). Kljub temu lahko zasledimo raziskave, ki opažajo višjo MA v vodi (Masumoto idr., 2008) oziroma podobne vrednosti MA v vodi in na suhem (Castillo-Lozano in Cuesta-Vargas, 2013; Silvers in Dolny, 2011). Zasledimo lahko tudi, da so rezultati primerjav MA med vadbo v vodi in vadbo na suhem odvisni od hitrosti gibanja in merjene mišice. Nekateri avtorji so ugotovili, da se z večjo hitrostjo gibanja v vodi MA približuje vrednostim, značilnim za vadbo na suhem, ali pa te celo preseže (Alberton, Cadore idr., 2011; Castillo-Lozano

idr., 2014; Chien idr., 2017). Raziskave kažejo večjo MA mišic trupa v vodi in mečnih mišic na suhem (Chevutschi idr., 2007; Cuesta-Vargas, Cano-Herrera in Heywood, 2013; Kaneda idr., 2007; Masumoto idr., 2005). Med MA in stopnjo zaznane obremenitve ni dokazane povezave (Alberton, Antunes idr., 2011).

Razprava

Opravili smo pregled nad področjem merjenja MSO in SDO v vodnem okolju. Podrobneje smo pregledali značilnosti in ključne rezultate raziskav, pri katerih so med vadbo v vodi merili SRP, MA in SDO.

Z merjenjem SRP med izvajanjem vaj v vodi lahko dobimo informacijo o tem, kako obremenjujoča oziroma intenzivna je takšna vadba. Višje SRP običajno kažejo na večjo obremenitev mišično-skeletnega sistema med vadbo. To lahko pomeni, da so mišice, sklepi in kosti izpostavljeni večjemu stresu, kar lahko vodi do večje utrujenosti ali tveganja za poškodbe. Pri obravnavi nekaterih zdravstvenih stanj (npr. osteoartritis kolena in rehabilitacija po rekonstrukciji križnih vezi) lahko z izbiro vaj, ki nakazujejo manjše SRP, pacientom omogočimo hitrejšo vključitev v vadbeni program in izvedbo vaj, ki jih v suhem okolju zaradi šibkosti ali bolečin niso sposobni izvajati. S pregledom področja smo ugotovili, da je SRP manjša med vadbo v vodi v primerjavi z vadbo na suhem, še posebej pri večji potopitvi telesa in pri izvajanju vaj z manjšo kadenco. Prihodnje raziskave bi bile lahko usmerjene v prilagajanje pogojev med vadbo v vodi s ciljem doseči podobne vrednosti SRP, kot jih zasledimo med vadbo na suhem. Doseganje podobnih vrednosti SRP v vodi bi lahko pomenilo tudi podoben napredek v fizični zmogljivosti. Prednosti vadbe v vodi v razmerah, ki omogočajo približek SRP vadbi na suhem, bi lahko izkusili pripadniki različnih populacij – na primer športniki, ki zaradi poškodb ali nelagodja (npr. žuljev) težko trenirajo na suhem, vendar bi želeli ohranjati svojo fizično pripravljenost na podoben način kot med vadbo na suhem. Ali pa osebe z osteoporozo, pri katerih želimo krepiti kostno tkivo, od vadbe v vodi pa imajo še druge prednosti (npr. zmanjšanje pridruženih bolečin v hrbtenici). Zanimivo bi bilo raziskati tudi učinke plovnosti telesa na SRP med vadbo v vodi. Na podlagi ugotovitev bi lahko vadbo prilagodili posameznikom glede na njihovo telesno sestavo. Pričakujemo, da bolj plovno telo ustvarja

manjše SRP v primerjavi z manj plovnim telesom pri isti vaji.

Podatki o srčno-dihalnih meritvah, pridobljenih med vadbo v vodi, ponujajo informacije o fiziološkem odzivu telesa na tovrstno aktivnost. Merjenje srčnega utripa, porabe kisika in drugih srčno-dihalnih parametrov med vadbo v vodi omogoča oceno intenzivnosti vadbe. To je ključno za določanje ustrezne intenzivnosti vadbe, prilagojene posameznikovim ciljem, sposobnostim in stopnji telesne pripravljenosti. Razumevanje srčno-dihalnega odziva na vadbo v vodi lahko pomaga pri ciljno usmerjenem izboljšanju funkcionalnih zmogljivosti. Ugotovili smo, da raziskave prihajajo do precej heterogenih zaključkov pri primerjavah SDO med vadbo v vodi in na suhem. Zato opažamo potrebo po sistematičnem pregledu, ki bi raziskal vzroke za neskladne rezultate raziskav. Tako zasnovan sistematični pregled bi prepoznal dejavnike, ki prispevajo k podobnim, večjim oziroma manjšim SDO med vadbo v vodi v primerjavi z vadbo na suhem. Smiselno bi bilo narediti tudi sistematični pregled nad razmerji med zaznano stopnjo napora in drugimi srčno-dihalnimi meritvami (npr. srčni utrip in poraba kisika). Če ugotovimo, da subjektivne meritve, kot je zaznana stopnja napora, prinašajo rezultate, primerljive z bolj objektivnimi meritvami fiziološkega napora, denimo merjenje srčnega utripa in porabe kisika, bi to pomenilo, da lahko v praksi in pri prihodnjih raziskavah uporabljamo cenejše in dostopnejše metode za merjenje fiziološkega napora. Ena od takih metod je na primer Borgova lestvica zaznane napora.

Merjenje MA nam ponudi informacije o vključenosti posameznih mišic pri določenih vajah in o zahtevah, ki jih ima vaja na mišični sistem. Rezultati meritev MA med vadbo v vodi lahko prispevajo k učinkovitejši in ciljno usmerjeni rehabilitaciji pacientov. Če se želimo izogibati preobremenitvi določene mišične skupine (npr. zaradi poškodb), bomo izbrali vaje, ki zahtevajo manjšo MA. In obratno – če je naš cilj krepitev mišične skupine in preprečevanje atrofije, bomo izbrali vaje, ki zahtevajo večjo MA. Podobno kot pri SDO opažamo heterogenost rezultatov raziskav tudi pri primerjavah MA med vadbo v vodi in na suhem. Smiselno bi bilo sistematično pregledati raziskave, pri katerih proučujejo razlike v MA med vadbo v vodi in na suhem. Tako bi lahko ugotovili, kakšni pogoji so vzrok za večjo, manjšo in podobno MA

med vadbo v vodi v primerjavi z vadbo na suhem. Ugotovili smo, da različne mišice kažejo različne vrednosti MA – pri isti telesni aktivnosti imajo nekatere večjo MA med vadbo na suhem, druge pa med vadbo v vodi. Zato bi bilo treba sistematično pregledati raziskave in ugotoviti, zakaj se različne mišice drugače odzovejo na vadbo v vodi in na suhem.

Zaključek

Opravili smo pregled nad področjem merjenja MSO in SDO v vodnem okolju. Podrobneje smo pregledali raziskave, pri katerih so med vadbo v vodi merili SRP, MA in SDO. V prispevku smo predstavili značilnosti in ključne rezultate raziskav ter priložnosti za smiselno nadaljnje razvojno-raziskovalno delo. Ugotavljamo, da se na vseh področjih (SRP, MA in SDO) kaže potreba po dodatnih raziskovalnih ali preglednih člankih, ki bi prispevali k oblikovanju z dokazi podprte prakse vadbe v vodi.

Literatura

1. Alberton, C. L., Antunes, A. H., Pinto, S. S., Tartaruga, M. P., Silva, E. M., Cadore, E. L. in Martins Kruel, L. F. (2011). Correlation Between Rating of Perceived Exertion and Physiological Variables During the Execution of Stationary Running in Water at Different Cadences. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 155–162. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181bde2b5>
2. Alberton, C. L., Bgeginski, R., Pinto, S. S., Nunes, G. N., Andrade, L. S., Brasil, B. in Domingues, M. R. (2019). Water-based exercises in pregnancy: Apparent weight in immersion and ground reaction force at third trimester. *Clinical Biomechanics*, 67, 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.05.021>
3. Alberton, C. L., Cadore, E. L., Pinto, S. S., Tartaruga, M. P., da Silva, E. M. in Kruel, L. F. M. (2011). Cardiorespiratory, neuromuscular and kinematic responses to stationary running performed in water and on dry land. *European Journal of Applied Physiology*, 111(6), 1157–1166. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1747-5>
4. Alberton, C. L., Finatto, P., Pinto, S. S., Antunes, A. H., Cadore, E. L., Tartaruga, M. P. in Kruel, L. F. M. (2015). Vertical ground reaction force responses to different head-out aquatic exercises performed in water and on dry land. *Journal of Sports Sciences*, 33(8), 795–805. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.964748>
5. Alberton, C. L., Fonseca, B. A., Nunes, G. N., Bergamin, M. in Pinto, S. S. (2024). Magnitude

- of vertical ground reaction force during water-based exercises in women with obesity. *Sports Biomechanics*, 23(4), 470–483. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1872690>
6. Alberton, C. L., Nunes, G. N., Rau, D. G. D. S., Bergamin, M., Cavalli, A. S. in Pinto, S. S. (2019). Vertical Ground Reaction Force During a Water-Based Exercise Performed by Elderly Women: Equipment Use Effects. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 90(4), 479–486. <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1620910>
7. Alberton, C. L., Pinto, S. S., Gorski, T., Antunes, A. H., Finatto, P., Cadore, E. L., Bergamin, M. in Krueel, L. F. M. (2016). Rating of perceived exertion in maximal incremental tests during head-out water-based aerobic exercises. *Journal of Sports Sciences*, 34(18), 1691–1698. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1134804>
8. Alberton, C. L., Tartaruga, M. P., Pinto, S. S., Cadore, E. L., Da Silva, E. M. in Krueel, L. F. M. (2009). Cardiorespiratory responses to stationary running at different cadences in water and on land. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 49(2), 142–151.
9. Alberton, C. L., Zaffari, P., Pinto, S. S., Reichert, T., Bagatini, Natália. C., Kanitz, A. C., Almada, B. P. in Krueel, L. F. M. (2021). Water-based exercises in postmenopausal women: Vertical ground reaction force and oxygen uptake responses. *European Journal of Sport Science*, 21(3), 331–340. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1746835>
10. Ayme, K., Rossi, P., Gavarry, O., Chaumet, G. in Boussuges, A. (2015). Cardiorespiratory alterations induced by low-intensity exercise performed in water or on land. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(4), 309–315. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0264>
11. Barela, A. M. F. in Duarte, M. (2008). Biomechanical characteristics of elderly individuals walking on land and in water. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(3), 446–454. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.10.008>
12. Becker, B. E. (2009). Aquatic Therapy: Scientific Foundations and Clinical Rehabilitation Applications. *PM&R*, 1(9), 859–872. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.05.017>
13. Benelli, P., Ditroilo, M. in De Vito, G. (2004). Physiological Responses to Fitness Activities: A Comparison Between Land-Based and Water Aerobics Exercise. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 719. <https://doi.org/10.1519/14703.1>
14. Bergamin, M., Ermolao, A., Matten, S., Sieverdes, J. C. in Zaccaria, M. (2015). Metabolic and Cardiovascular Responses During Aquatic Exercise in Water at Different Temperatures in Older Adults. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 86(2), 163–171. <https://doi.org/10.1080/02701367.2014.981629>
15. Bressel, E., Dolny, D. G. in Gibbons, M. (2011). Trunk Muscle Activity during Exercises Performed on Land and in Water. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(10), 1927–1932. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318219dae7>
16. Brubaker, P., Ozemek, C., Gonzalez, A., Wiley, S. in Collins, G. (2011). Cardiorespiratory Responses During Underwater and Land Treadmill Exercise in College Athletes. *Journal of Sport Rehabilitation*, 20(3), 345–354. <https://doi.org/10.1123/jsr.20.3.345>
17. Carneiro, L. C., Michaelsen, S. M., Roesler, H., Hauptenthal, A., Hubert, M. in Mallmann, E. (2012). Vertical reaction forces and kinematics of backward walking underwater. *Gait & Posture*, 35(2), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.09.011>
18. Cassady, S. L. in Nielsen, D. H. (1992). Cardiorespiratory Responses of Healthy Subjects to Calisthenics Performed on Land Versus in Water. *Physical Therapy*, 72(7), 532–538. <https://doi.org/10.1093/ptj/72.7.532>
19. Castillo-Lozano, R., Cuesta-Vargas, A. in Gabriel, C. P. (2014). Analysis of arm elevation muscle activity through different movement planes and speeds during in-water and dry-land exercise. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 23(2), 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2013.04.010>
20. Castillo-Lozano, R. in Cuesta-Vargas, A. I. (2013). A comparison land-water environment of maximal voluntary isometric contraction during manual muscle testing through surface electromyography. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*, 5(1), 28. <https://doi.org/10.1186/2052-1847-5-28>
21. Chevutschi, A., Lensel, G., Vaast, D. in Thevenon, A. (2007). An Electromyographic Study of Human Gait both in Water and on Dry Ground. *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY*, 26(4), 467–473. <https://doi.org/10.2114/jpa2.26.467>
22. Chien, K.-Y., Kan, N.-W., Liao, Y.-H., Lin, Y.-L., Lin, C.-L. in Chen, W.-C. (2017). Neuromuscular Activity and Muscular Oxygenation Through Different Movement Cadences During In-water and On-land Knee Extension Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(3), 750–757. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001524>
23. Colado, J. C., Garcia-Masso, X., González, L.-M., Triplett, N. T., Mayo, C. in Merce, J. (2010). Two-Leg Squat Jumps in Water: An Effective Alternative to Dry Land Jumps. *International Journal of Sports Medicine*, 31(02), 118–122. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1242814>
24. Cuesta-Vargas, A. I., Cano-Herrera, C., Formosa, D. in Burkett, B. (2013). Electromyographic responses during time get up and go test in water (wTUG). *SpringerPlus*, 2(1), 217. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-217>
25. Cuesta-Vargas, A. I. in Cano-Herrera, C. L. (2014). Surface electromyography during physical exercise in water: a systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.1186/2052-1847-6-15>
26. Cuesta-Vargas, A. I., Cano-Herrera, C. L. in Heywood, S. (2013). Analysis of the neuromuscular activity during rising from a chair in water and on dry land. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(6), 1446–1450. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.06.001>
27. de Brito Fontana, H., Ruschel, C., Dell'Antonio, E., Hauptenthal, A., Pereira, G. S. in Roesler, H. (2018). Vertical ground reaction force in stationary running in water and on land: A study with a wide range of cadences. *Human Movement Science*, 58, 279–286. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.03.003>
28. de Brito Fontana, H., Ruschel, C., Hauptenthal, A., Hubert, M. in Roesler, H. (2015). Ground Reaction Force and Cadence during Stationary Running Sprint in Water and on Land. *International Journal of Sports Medicine*, 36(06), 490–493. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1398576>
29. Donoghue, O. A., Shimajo, H. in Takagi, H. (2011). Impact Forces of Plyometric Exercises Performed on Land and in Water. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 3(3), 303–309. <https://doi.org/10.1177/1941738111403872>
30. Edlich, R. F., Towler, M. A., Goitz, R. J., Wilder, R. P., Buschbacher, L. P., Morgan, R. F. in Thacker, J. G. (1987). Bioengineering principles of hydrotherapy. *The Journal of burn care & rehabilitation*, 8(6), 580–584.
31. Fail, L. B., Marinho, D. A., Marques, E. A., Costa, M. J., Santos, C. C., Marques, M. C., Izquierdo, M. in Neiva, H. P. (2022). Benefits of aquatic exercise in adults with and without chronic disease—A systematic review with meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 32(3), 465–486. <https://doi.org/10.1111/sms.14112>
32. Finkelstein, I., de Figueiredo, P. A. P., Alberton, C. L., Bgeginski, R., Stein, R. in Krueel, L. F. M. (2011). Cardiorespiratory responses during and after water exercise in pregnant and non-pregnant women. *Revista brasileira de ginecologia e obstetricia : revista da Federacao Brasileira das Sociedades de Ginecologia e Obstetricia*, 33(12), 388–394.
33. Garcia, M. K., Rizzo, L., Yazbek-Júnior, P., Yutiyama, D., da Silva, F. J., Matheus, D., Mastrocolla, L. E. in Massad, E. (2017). Cardiorespiratory performance of coronary artery disease patients on land versus underwater treadmill tests: a comparative study. *Clinics*, 72(11), 667–674. [https://doi.org/10.6061/clinics/2017\(11\)04](https://doi.org/10.6061/clinics/2017(11)04)
34. Greene, N. P., Greene, E. S., Carbuhn, A. F., Green, J. S. in Crouse, S. F. (2011). VO2 Prediction and Cardiorespiratory Responses

- During Underwater Treadmill Exercise. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(2), 264–273. <https://doi.org/10.1080/02701367.2011.10599754>
35. Hall, J., Macdonald, I. A., Maddison, P. J. in O'Hare, J. P. (1998). Cardiorespiratory responses to underwater treadmill walking in healthy females. *European Journal of Applied Physiology*, 77(3), 278–284. <https://doi.org/10.1007/s004210050333>
36. Heywood, S., McClelland, J., Geigle, P., Rahmann, A. in Clark, R. (2016). Spatiotemporal, kinematic, force and muscle activation outcomes during gait and functional exercise in water compared to on land: A systematic review. *Gait & Posture*, 48, 120–130. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.04.033>
37. Heywood, S., McClelland, J., Geigle, P., Rahmann, A., Villalta, E., Mentiplay, B. in Clark, R. (2019). Force during functional exercises on land and in water in older adults with and without knee osteoarthritis: Implications for rehabilitation. *The Knee*, 26(1), 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2018.11.003>
38. Kaneda, K., Wakabayashi, H., Sato, D. in Nomura, T. (2007). Lower Extremity Muscle Activity during Different Types and Speeds of Underwater Movement. *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY*, 26(2), 197–200. <https://doi.org/10.2114/jpa.26.197>
39. Kim, M., Han, S. in Kim, S. (2014). Changes in the Range of Motion of the Hip Joint and the Muscle Activity of the Rectus Femoris and Biceps Femoris of Stroke Patients during Obstacles Crossing on the Ground and Underwater. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(8), 1143–1146. <https://doi.org/10.1589/jpts.26.1143>
40. Krueel, L. F. M., Beilke, D. D., Kanitz, A. C., Al-berton, C. L., Antunes, A. H., Pantoja, P. D., da Silva, E. M. in Pinto, S. S. (2013). Cardiorespiratory responses to stationary running in water and on land. *Journal of sports science & medicine*, 12(3), 594–600.
41. Louder, T., Bressel, E., Nardoni, C. in Dolny, D. G. (2019). Biomechanical Comparison of Loaded Countermovement Jumps Performed on Land and in Water. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(1), 25–35. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001900>
42. Louder, T., Dolny, D. in Bressel, E. (2018). Biomechanical Comparison of Countermovement Jumps Performed on Land and in Water: Age Effects. *Journal of Sport Rehabilitation*, 27(3), 249–256. <https://doi.org/10.1123/jsr.2016-0225>
43. Masumoto, K., Hamada, A., Tomonaga, H., Kodama, K. in Hotta, N. (2012). Physiological Responses, Rating of Perceived Exertion, and Stride Characteristics During Walking on Dry Land and Walking in Water, Both With and Without a Water Current. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21(2), 175–181. <https://doi.org/10.1123/jsr.21.2.175>
44. Masumoto, K., Hamada, A., Tomonaga, H.-O., Kodama, K., Amamoto, Y., Nishizaki, Y. in Hotta, N. (2015). Metabolic Costs and Rating of Perceived Exertion during Backward Walking in Water and on Dry Land. *Research in Sports Medicine*, 23(1), 27–36. <https://doi.org/10.1080/15438627.2014.975810>
45. Masumoto, K., Mefferd, K. C., Iyo, R. in Mercer, J. A. (2018). Muscle Activity and Physiological Responses During Running in Water and on Dry Land at Submaximal and Maximal Efforts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(7), 1960–1967. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002107>
46. Masumoto, K., Nishizaki, Y. in Hamada, A. (2013). Effect of stride frequency on metabolic costs and rating of perceived exertion during walking in water. *Gait & Posture*, 38(2), 335–339. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.12.010>
47. Masumoto, K., Shono, T., Hotta, N. in Fujishima, K. (2008). Muscle activation, cardiorespiratory response, and rating of perceived exertion in older subjects while walking in water and on dry land. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(4), 581–590. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.12.009>
48. Masumoto, K., Shono, T., Takasugi, S., Hotta, N., Fujishima, K. in Iwamoto, Y. (2007). Age-related differences in muscle activity, stride frequency and heart rate response during walking in water. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(5), 596–604. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2006.06.006>
49. Masumoto, K., Takasugi, S., Hotta, N., Fujishima, K. in Iwamoto, Y. (2004). Electromyographic Analysis of Walking in Water in Healthy Humans. *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science*, 23(4), 119–127. <https://doi.org/10.2114/jpa.23.119>
50. Masumoto, K., Takasugi, S., Hotta, N., Fujishima, K. in Iwamoto, Y. (2005). Muscle activity and heart rate response during backward walking in water and on dry land. *European Journal of Applied Physiology*, 94(1–2), 54–61. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1288-x>
51. Melton-Rogers, S., Hunter, G., Walter, J. in Harrison, P. (1996). Cardiorespiratory Responses of Patients With Rheumatoid Arthritis During Bicycle Riding and Running in Water. *Physical Therapy*, 76(10), 1058–1065. <https://doi.org/10.1093/ptj/76.10.1058>
52. Miyoshi, T., Shirota, T., Yamamoto, S.-I., Nakazawa, K. in Akai, M. (2004). Effect of the walking speed to the lower limb joint angular displacements, joint moments and ground reaction forces during walking in water. *Disability and Rehabilitation*, 26(12), 724–732. <https://doi.org/10.1080/09638280410001704313>
53. Ochoa Martínez, P. Y., Hall Lopez, J. A., Pare-dones Hernández, A. in Martín Dantas, E. H. (2014). Effect of periodized water exercise training program on functional autonomy in elderly women. *Nutrición hospitalaria*, 31(1), 351–356. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7857>
54. Pereira Neiva, H., Brandão Fail, L., Izquierdo, M., Marques, M. C. in Marinho, D. A. (2018). The effect of 12 weeks of water-aerobics on health status and physical fitness: An ecological approach. *PLOS ONE*, 13(5), e0198319. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198319>
55. Perk, J., Perk, L. in Boden, C. (1996). Cardiorespiratory adaptation of COPD patients to physical training on land and in water. *European Respiratory Journal*, 9(2), 248–252. <https://doi.org/10.1183/09031936.96.09020248>
56. Phothirook, P., Amatachaya, S. in Peungsuvan, P. (2023). Muscle Activity and Co-Activation of Gait Cycle during Walking in Water and on Land in People with Spastic Cerebral Palsy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 1854. <https://doi.org/10.3390/ijerph20031854>
57. Pippi, R., Vandoni, M., Tortorella, M., Bini, V. in Fanelli, C. G. (2022). Supervised Exercise in Water: Is It a Viable Alternative in Overweight/Obese People with or without Type 2 Diabetes? A Pilot Study. *Nutrients*, 14(23), 4963. <https://doi.org/10.3390/nu14234963>
58. Pöyhönen, T., Keskinen, K. L., Hautala, A. in Mälikä, E. (2000). Determination of hydrodynamic drag forces and drag coefficients on human leg/foot model during knee exercise. *Clinical Biomechanics*, 15(4), 256–260. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(99\)00070-4](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(99)00070-4)
59. Pöyhönen, T., Sipilä, S., Keskinen, K. L., Hautala, A., Savolainen, J. in Mälikä, E. (2002). Effects of aquatic resistance training on neuromuscular performance in healthy women. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(12), 2103–2109. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000039291.46836.86>
60. Raffaelli, C., Milanese, C., Lanza, M. in Zamparo, P. (2016). Water-based training enhances both physical capacities and body composition in healthy young adult women. *Sport Sciences for Health*, 12(2), 195–207. <https://doi.org/10.1007/s11332-016-0275-z>
61. Shono, T., Fujishima, K., Hotta, N., Ogaki, T., Ueda, T., Otoki, K., Teramoto, K. in Shimizu, T. (2000). Physiological Responses and RPE during Underwater Treadmill Walking in Women of Middle and Advanced Age. *Journal of PHYSIOLOGICAL ANTHROPOLOGY and Applied Human Science*, 19(4), 195–200. <https://doi.org/10.2114/jpa.19.195>
62. Silvers, W. M. in Dolny, D. G. (2011). Comparison and reproducibility of sEMG during manual muscle testing on land and in water. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(1), 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.05.004>

63. So, B. C. L., Kwok, M. M. Y., Lee, N. W. L., Lam, A. W. C., Lau, A. L. M., Lam, A. S. L., Chan, P. W. Y. in Ng, S. S. M. (2023). Lower Limb Muscles' Activation during Ascending and Descending a Single Step-Up Movement: Comparison between In water and On land Exercise at Different Step Cadences in Young Injury-Free Adults. *Healthcare*, 11(3), 441. <https://doi.org/10.3390/healthcare11030441>
64. Song, J.-A. in Oh, J. W. (2022). Effects of Aquatic Exercises for Patients with Osteoarthritis: Systematic Review with Meta-Analysis. *Healthcare*, 10(3), 560. <https://doi.org/10.3390/healthcare10030560>
65. Triplett, N. T., Colado, J. C., Benavent, J., Alakhdar, Y., Madera, J., Gonzalez, L. M. in Tella, V. (2009). Concentric and Impact Forces of Single-Leg Jumps in an Aquatic Environment versus on Land. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(9), 1790–1796. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a252b7>
66. Tsourlou, T., Benik, A., Dipla, K., Zafeiridis, A. in Kellis, S. (2006). The effects of a twenty-four-week aquatic training program on muscular strength performance in healthy elderly women. *Journal of strength and conditioning research*, 20(4), 811–818. <https://doi.org/10.1519/R-18455.1>
67. Vinod Kumar, K. . C. (2015). Effectiveness of land based endurance training versus aquatic based endurance training on improving endurance in normal individuals. *International Journal of Physiotherapy*, 2(3). <https://doi.org/10.15621/ijphy/2015/v2i3/67016>
68. Wiesner, S., Birkenfeld, A. L., Engeli, S., Haufe, S., Brechtel, L., Wein, J., Hermsdorf, M., Karnahl, B., Berlan, M., Lafontan, M., Sweep, F. C. G. J., Luft, F. C. in Jordan, J. (2010). Neurohumoral and Metabolic Response to Exercise in Water. *Hormone and Metabolic Research*, 42(05), 334–339. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248250>
69. Yuen, C. H. N., Lam, C. P. Y., Tong, K. C. T., Yeung, J. C. Y., Yip, C. H. Y. in So, B. C. L. (2019). Investigation the EMG Activities of Lower Limb Muscles When Doing Squatting Exercise in Water and on Land. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22), 4562. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224562>
70. Zamunér, A. R., Andrade, C. P., Arca, E. A. in Avila, M. A. (2019). Impact of water therapy on pain management in patients with fibromyalgia: current perspectives. *Journal of Pain Research, Volume 12*, 1971–2007. <https://doi.org/10.2147/JPR.S161494>

Prof. dr. Nejc Šarabon
Fakulteta za vede o zdravju, Univerza na Primorskem
Inštitut Andrej Marušič, Univerza na Primorskem
Laboratorij za motorično kontrolo in motorično obnašanje, S2P, Ltd
Inštitut Ludwiga Boltzmann za fizikalno medicino in rehabilitacijo
nejc.sarabon@fvz.upr.si