

# UČINEK VADBE HOJE NA ROBOTSKI NAPRAVI LOKOMAT NA TELESNO ZMOGLJIVOST PRI OTROCIH IN MLADOSTNIKI S CEBERALNO PARALIZO *EFFECT OF ASSISTED-ROBOTIC GAIT TRAINING ON LOKOMAT DEVICE ON AEROBIC CAPACITY IN CHILDREN AND ADOLESCENTS WITH CEREBRAL PALSY*

**Marijana Žen Jurančič<sup>1</sup>, dr. med., prim. Hermina Damjan<sup>1</sup>, dr. med., Irena Vrečar<sup>1</sup>, dipl. fiziot., Irena Jemec Štukelj<sup>1</sup>, dipl. fiziot., Branka Vipavec<sup>1</sup>, dipl. m. s., Marija Pibernik<sup>1</sup>, dipl. m. s., doc. dr. Katja Groleger Sršen<sup>1,2</sup>, dr. med.**

<sup>1</sup>Univerzitetni Rehabilitacijski Inštitut Republike Slovenije-Soča

<sup>2</sup>Katedra za fizikalno in rehabilitacijsko medicino, Medicinska fakulteta Univerze v Ljubljani

## Izvleček

### Izhodišča:

V več raziskavah je bilo potrjeno, da imajo otroci in mladostniki s cerebralno paralizo (CP) zmanjšano aerobno zmogljivost v primerjavi z zdravimi vrstniki. Znano je tudi, da vadba hoje na robotski napravi izboljša shemo hoje, zmanjša spastičnost in izboljša splošno zmogljivost. Namen študije je bilo preveriti, ali pri otrocih s cerebralno paralizo po vadbi hoje na robotski napravi Lokomat pride do izboljšanja aerobne zmogljivosti.

### Metode:

V študijo smo vključili 17 otrok in mladostnikov; 16 s CP in eno dekle s hereditarno spastično paraparezo. Glede na grobe zmožnosti gibanja so bili otroci s CP razvrščeni v stopnje od I. do IV. Opravili smo obremenitveno testiranje po standardnem zveznem protokolu pred in po končani vadbi hoje na Lokomatu (od 16 do 18 vadbenih enot, enkrat na dan, brez dodatne fizioterapije, v obdobju štirih tednov).

### Rezultati:

Maksimalni krvni tlak po zaključeni vadbi na Lokomatu je bil ob obremenitvi nižji, vendar razlika ni bila statistično značilna. Ob tem smo opazili tako absolutno kot relativno izboljšanje pri vseh ostalih opazovanih spremenljivkah, vendar tudi tu razlike niso bile statistično pomembne. Ob zaključku vadbe

## Abstract

### Background:

*Recent studies showed that aerobic capacity of children and adolescents with cerebral palsy (CP) is significantly lower compared to healthy peers. The assisted robotic gait training programs are reported to lower spasticity, improve gait pattern and general physical capacity. The aim of our study was to evaluate to what extent could the assisted-robotic gait training improve the aerobic capacity.*

### Methods:

*We included 17 children and adolescents; 16 with CP and one with hereditary spastic paraparesis. Children with CP were classified based on their gross motor function. The bicycle stress testing was performed by continuous protocol. Children were referred into assisted-robotic gait training program (16 to 18 sessions, once a day, without additional physiotherapy program, in the period of four weeks): At the end of training, the stress testing was repeated.*

### Results:

*The maximal blood pressure was lower after the end of training period, but the difference was not statistically significant. We also noticed relative and absolute improvement of other variables, but none of those was statistically significant either. Participants*

na Lokomatu so imeli preiskovanci relativno višjo maksimalno porabo kisika. Ob tem je prišlo do relativnega padca maksimalnega sistoličnega tlaka in relativnega povečanja srčne frekvence.

### Zaključek:

Aerobna zmogljivost vključenih otrok in mladostnikov je v primerjavi z zdravimi vrstniki pomembno zmanjšana. Z vadbo hoje na Lokomatu je aerobno zmogljivost pri otrocih in mladostnikih s cerebralno paralizo mogoče izboljšati, vendar je za dokončne zaključke v raziskavo potrebno vključiti več preiskovancev.

### Ključne besede:

cerebralna paraliza; otrok; robotizirana vadba hoje; aerobna zmogljivost; učinkovitost

*showed relatively higher oxygen consumption, with relative drop of maximal systolic pressure and relative increase of heart frequency.*

### Conclusions:

*Aerobic capacity of included children and teenagers was significantly lower than in healthy peers. Assisted-robotic gait training on Lokomat device could improve aerobic capacity, but we should include a larger group of participants to reach more reliable conclusions.*

### Key words:

*cerebral palsy; child; robotic assisted gait training; aerobic capacity; efficiency*

## UVOD

Že dlje časa je znano, da imajo mišice otrok s cerebralno paralizo (CP) manjši volumen, manjšo površino preseka, nižjo gostoto mišičnega tkiva in krajši trebuh mišice kot mišice zdravih vrstnikov (1, 2). Te spremembe po mnenju več avtorjev igrajo pomembno vlogo pri znižani hitrosti krčenja mišice in obsega giba ter zmanjšani zmoglosti generiranja mišične moči (2-5). Nystromova in sodelavci so ugotovili, da je mišična moč najmanjša prav v mišicah za gleženj in kolk (5). Ob tem še vedno ni povsem jasno, kateri so tisti elementi v mišici, ki dajejo občutek togosti mišice in prispevajo k razvoju kontraktur (6). Lieber je s sodelavci raziskoval pasivne mehanske značilnosti na ravni proteinov, celic, tkiva in njegove zgradbe, da bi našli elemente, ki so odgovorni za razvoj kontraktur. Z analizo bioptičnega materiala so ugotovili, da protein titin, s tem tudi pasivne mehanske lastnosti mišičnih svežnjev pri otrocih s CP niso spremenjeni. Hkrati so ugotovili, da so bili mišični snopi, ki vključujejo mišična vlakna, in pripadajoči zunajcelični matriks bolj togi kot pri zdravih otrocih iz kontrolne skupine. To je skladno s povečano vsebnostjo kolagena v mišicah otrok s CP, ki so jo ugotovili z imuno-histo-kemičnimi metodami in vsebnostjo hidroksi-prolina (6). Ugotovili so tudi, da so bile sarkomere pri otrocih s CP statistično značilno daljše kot pri zdravih otrocih. Ti rezultati so dokaz, da nastanek kontraktur ni posledica togosti na ravni celic, temveč na ravni zunajceličnega matriksa s povišano vsebnostjo kolagena (6). Šele pred kratkim pa je ista raziskovalna skupina ugotovila verjetno ključni razlog, zakaj je rast mišic pri otrocih s CP tako zmanjšana. S pomočjo fluorescenčne mikroskopije so identificirali satelitske celice pod bazalno lamino in ugotovili, da imajo otroci s CP v primerjavi z zdravimi otroki za 70 % zmanjšan delež satelitskih celic, ki so sicer odgovorne za rast mišičnih vlaken in odzivnost mišic na telesno vadbo (7).

Skladno s temi podatki različne študije kažejo tudi, da je telesna zmogljivost, oziroma aerobna kapaciteta otrok in mladostnikov s CP, pomembno nižja kot pri zdravih, normalno razvijajočih vrstnikih (8, 9). To velja že za tiste otroke s CP, ki po lestvici za razvrščanje glede na grobe gibalne zmožnosti (*angl.* The Gross Motor Function Classification System Expanded & Revised, GMFCS) (10) sodijo I. ali II. v stopnjo (9). Ti otroci in mladostniki zmorejo učinkovito hoditi in premagovati daljše razdalje brez pripomočkov, medtem ko otroci v stopnji III. in IV. za hojo ali vsaj nekaj korakov ob vodenju potrebujejo različne pripomočke, najpogosteje ortoze. Še pomembnejše je dejstvo, da so v eni od raziskav ugotovili, da se je aerobna zmogljivost pri deklicah s CP s starostjo celo zmanjšala. Balemans in sodelavci so glede na rezultate pregleda literature o ocenjevanju aerobnih in anaerobnih zmogljivosti otrok s CP (11) zaključili, da je raziskav na tem področju premalo, še posebej pri otrocih z GMFCS stopnjo III. do V., in svetovali dodatne raziskave.

Tako spremenjena zgradba mišic je poleg okvare kortikospinalnega traktusa in motenega procesiranja senzornih dražljajev pri otrocih s CP tudi vzrok za to, da je učinkovitost različnih terapevtskih programov za otroke s CP omejena. Flores-Mateo je s sodelavci leta 2007 objavila podatke o tem, da je kar ena tretjina terapevtskih metod brez dokazov o učinkovitosti, naslednjih 20 % pa je celo neučinkovitih, nepotrebnih ali celo škodljivih (12). Osem let kasneje je pregledni članek z enakim namenom objavila Iona Novak s sodelavci. Vključitvena merila je izpolnjevalo 166 člankov, od teh je bilo 74 % preglednih; povzeti so bili rezultati 64 različnih terapevtskih metod, pri katerih so avtorji raziskav spremljali 131 različnih terapevtskih metod (13). Med gotovo učinkovitimi metodami za otroke s CP so bile uporaba protiepileptične terapije, vadba soročnih aktivnosti, uporaba botulinškega toksina, bisfosfonatov,

mavčenje, terapija z omejevanjem funkcije neokvarjene roke, v okolje usmerjena terapija, telesna vadba za izboljšanje aerobne pripravljenosti, v cilj usmerjena vadba, program za spremljanje položaja kolkov (preprečevanje izpaha), preprečevanje razjed kože zaradi pritiska, program vadbe v domačem okolju in selektivna dorzalna rizotomija. Večina dokazov o učinkovitosti terapevtskih metod (70 %) je bila pomanjkljiva, 6 % terapevtskih pristopov je bilo dokazano neučinkovitih (13). Med metodami za izboljšanje mišične moči pri otrocih s CP ni bilo nobene, ki bi to dosegla povsem jasno in učinkovito. Verjetno je učinkovita vadba za krepitev mišic spodnjih in zgornjih udov. Za izboljšanje funkcije gibanja in skrbi zase je gotovo učinkovita v cilj usmerjena vadba, verjetno pa tudi vadba na tekočem traku (13).

Ena od možnosti za vadbo hoje pri otrocih s CP je vadba na robotski napravi Lokomat. Rezultati raziskav kažejo, da ima takšna vadba pozitivne učinke na izboljšanje pasivne gibljivosti spodnjih udov, ravnotežje, stojo in hojo (14 - 17). V retrospektivni raziskavi o učinkih vadbe na Lokomatu smo tudi na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu Republike Slovenije analizirali učinke vadbe na Lokomatu za vzorec 66 otrok s CP (GMFCS stopnje I-IV; povprečna starost 11 let), ki so v obdobju od leta 2010 do 2016 opravili več kot 10 vadbenih enot (18). Po zaključeni vadbi hoje na Lokomatu smo pri vseh otrocih ugotovili statistično značilno izboljšanje gibljivosti vseh sklepov spodnjih udov ( $p < 0,001$ ) in rezultatov testa Vstani in pojdi ( $p = 0,002$ ), ne pa tudi izboljšanja rezultatov hoje na 10 m ( $p = 0,219$ ). Do statistično značilnega izboljšanja rezultatov obeh omenjenih testov je prišlo pri otrocih v IV. stopnji GMFCS ( $p < 0,02$ ).

Glede na to, da na URI Soča program vadbe hoje na Lokomatu teče v redni klinični praksi, smo želeli preveriti, ali takšna vadba lahko izboljša tudi telesno zmogljivost pri otrocih s CP.

## METODE DELA

### Preiskovanci

V študijo je bilo vključenih 17 otrok in mladostnikov s CP, ki so bili v obdobju od 1. 1. 2014 do 31. 12. 2016 vključeni v vadbo hoje na robotski napravi Lokomat. Vključili smo otroke, ki so bili obravnavani ambulantno in tiste, ki so bili vključeni v bolnišnični program rehabilitacije. V vadbo na Lokomatu nismo vključili otrok s CP, ki so imeli stegnenico krajšo kot 21 cm ali so imeli omejen pasivni obseg giba v kolkah ali kolenih več kot 20 stopinj (omejitev zaradi tehničnih značilnosti Lokomata). V vadbo tudi nismo vključili otrok, ki so bili preobčutljivi na senzorne dražljaje ali so imeli šibke kognitivne sposobnosti (nezmožnost sodelovanja se je pokazala ob uvodnem preskusu na Lokomatu).

### Protokol dela

Otroci s CP so pred vključitvijo v program vadbe na Lokomatu opravili pregled pri eni od specialistk fizikalne in rehabilitacijske medicine. Ob pregledu smo jih glede na grobe zmožnosti gibanja

razvrstili v eno od stopenj GMFCS. Diplomirana medicinska sestra je opravila antropometrične meritve (telesna teža, telesna višina) in izmerila krvni tlak (Omron®). Nato so preiskovanci opravili obremenitveno testiranje na sobnem poldedečem kolesu po standardnem protokolu. Na prsni koš smo namestili elektrode 6-kanalnega telemetričnega EKG. Uporabili smo zvezni stopenjski RAMP protokol (*angl.* R - Raise body temperature; A - Activate the most important muscles which: M - Mobilise your joints; P - Potentiate the main muscles), z naraščanjem obremenitve za 10 W/ minuto. Hitrost poganjanja kolesa je bila med 50 in 60 obrati na minuto. Spremenljivke ( $VO_2$ ,  $VCO_2$ , respiratorni kvocient in VE) smo spremljali po metodi kontinuiranega neposrednega merjenja z aparatom Oxycon Mobile (Viasys - Jaeger). Preiskovanci so dihali skozi obrazno masko. Pred vsako meritvijo smo aparat umerili po priporočenem protokolu.

Po končanem obremenitvenem testiranju smo merili krvni tlak po eni, treh in petih minutah. Testiranje smo prekinili v primeru, da je bil preiskovanec izčrpan, kadar zaradi motenj ravnotežja testiranje ni bilo več varno, ko poraba kisika ni več naraščala, ko je bila srčna frekvenca več kot 90 % maksimalno predvidene, izračunane po obrazcu  $((220 - \text{leta}) \times 0,9)$ , in v primeru, da je bil RQ (respiratorni kvocient) nad 1,15. Po končani vadbi na Lokomatu (od 16 do 18 vadbenih enot, 1-krat na dan, brez dodatne fizioterapije, v obdobju štirih tednov) smo ponovili vse meritve in obremenitveno testiranje.

## Statistična analiza

Za vse izbrane spremenljivke smo izračunali opisne statistike, absolutno (absolutna razlika med končno in začetno meritvijo) in relativno izboljšanje (absolutno izboljšanje deljeno z začetno meritvijo). S parnim t-testom smo primerjali posamezne pare meritev za tiste opazovane spremenljivke, pri katerih smo lahko privzeli normalno porazdeljene podatke, ter neparametrični statistični test predznačenih rangov (*angl.* Wilcoxon signed rank test) za tiste spremenljivke, pri katerih omenjene predpostavke nismo mogli narediti. Glede porazdelitve spremenljivk smo se odločali na podlagi grafičnih prikazov (Q-Q plot) in testa Shapiro-Wilk za preizkus normalnosti. Za mejo statistične značilnosti smo upoštevali  $p < 0,05$ . Za analizo podatkov smo uporabili okolje R, verzijo 2.15.

## REZULTATI

V raziskavo smo vključili 17 otrok in mladostnikov (9 dečkov in 8 deklic) s povprečno starostjo 12,9 let (razpon 9,0 do 18,4 let). Ena od najstnic je bila v program vključena zaradi hereditarne spastične parapareze, ostali preiskovanci zaradi CP. Od teh sta imela dva preiskovanca enostransko obliko CP (hemiparezo), ostali pa obojestransko obliko CP (diparezo). Glede na grobe zmožnosti gibanja so bili uvrščeni v različne stopnje GMFCS: I. stopnja dva, II. stopnja sedem, III. stopnja štiri in IV. stopnja štiri preiskovanci s CP.

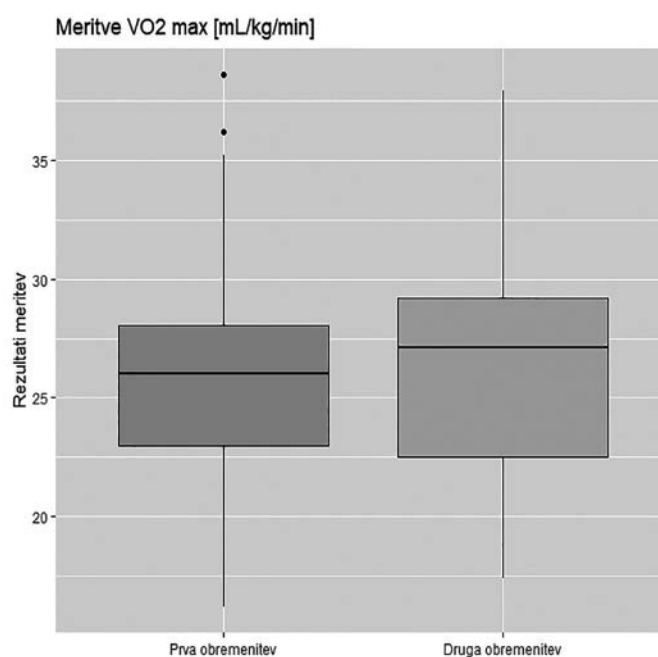
**Tabela 1.** Spremembe vrednosti krvnega tlaka, moči, porabe kisika in maksimalne ventilacije med prvim in drugim obremenitvenim testiranjem.

**Table 1.** Change of blood pressure, power, oxygen consumption and maximal ventilation between the first and the second stress test.

Spremenljivka/ Variable	Opisna statistika/ Descriptive statistics	1. test/ 1 <sup>st</sup> test	2. test/ 2 <sup>nd</sup> test	Absolutna razlika/ Absolute difference	Relativna razlika/ Relative difference	Vrednost p/ P value
<b>RR max sis</b> (mm Hg)	Povprečje/ mean (SO/ SD)	126,4 (20,7)	125 (20,3)	-1,4 [15,5]	-0,002 (0,138)	0,7048*
	M (razpon/ range)	130 (90;160)	130 (90;160)	-5 [-38; 35]	-0,033 (-0,275; 0,333)	
<b>PP</b> (Watt)	Povprečje/ mean (SO/ SD)	67,4 (23,6)	71,8 (26,9)	4,4 [11,4]	0,07 (0,185)	0,1258**
	M (razpon/ range)	62 (36; 125)	67 (34; 139)	6 [-16; 26]	0,082 (-0,32; 0,429)	
<b>HR max</b> (bpm)	Povprečje/ mean (SO/ SD)	80,4 (12,8)	84,4 (11,8)	3,9 [10,4]	0,061 (0,141)	0,1169*
	M (razpon/ range)	78,9 (55,9; 99)	84,3 (63; 110)	4,1 [-18, 18,3]	0,057 (-0,222; 0,274)	
<b>VO<sub>2</sub> max</b> (l/ min)	Povprečje/ mean (SO/ SD)	26,5 (5,8)	27,1 (5,4)	0,6 [4]	0,037 (0,156)	0,5385*
	M (razpon/ range)	26 (16,2; 38,6)	27,1 (17,4; 37,9)	1 [-8,5; 6,5]	0,036 (-0,235; 0,333)	
<b>VE max</b> (l/ min)	Povprečje/ mean (SO/ SD)	50,4 (18,6)	55,7 (19,3)	5,3 [17,3]	0,18 (0,435)	0,1976*
	M (razpon/ range)	52 (19, 94)	55 (23, 100)	4 [-40; 33]	0,121 (-0,426; 1,571)	

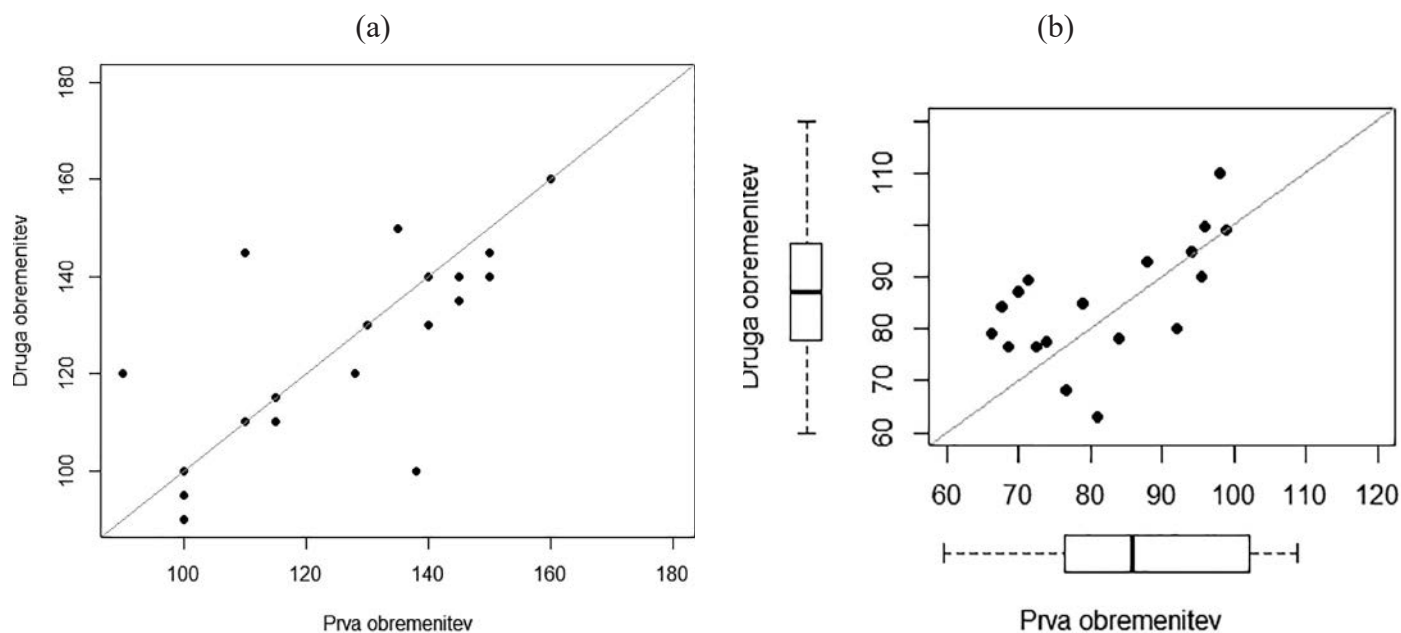
Legenda/ Legend: M mediana; SO/SD – standardni odklon/ standard deviation; RR max sist - maksimalni sistolični krvni tlak/ maximal systolic blood pressure; PP-maksimalna moč/ peak power; HR max- maksimalna srčna frekvenca/ maximal heart rate; VO<sub>2</sub> max-maksimalna poraba kisika/ maximal consumption of oxygen; VE max-maksimalna ventilacija/ maximal ventilation

Opisne statistike za vse vključene spremenljivke (maksimalna dosežena moč, srčna frekvenca, sistolični krvni tlak in poraba kisika na koncu obremenitve) so predstavljene v Tabeli 1. Maksimalni krvni tlak (RR max) je bil po zaključeni vadbi na Lokomatu ob obremenitvi nižji, vendar razlika ni bila statistično značilna. Ob tem smo opazili tako absolutno kot relativno izboljšanje pri vseh ostalih opazovanih spremenljivkah, vendar tudi tu razlike niso bile statistično značilne (Tabela 1). Ob zaključku vadbe na Lokomatu so imeli preiskovanci relativno višjo maksimalno porabo kisika (max VO<sub>2</sub>) (Slika 1); ob tem je prišlo do relativnega padca maksimalnega sistoličnega tlaka (Slika 2) in relativnega povečanja srčne frekvence (Slika 3).



**Slika 1.** Škatlasti diagram za primerjavo maksimalne porabe kisika ob prvem in drugem obremenitvenem testiranju.

**Picture 1.** Box-plot showing maximal oxygen consumption at first and second stress test.



**Slika 2.** Razsevni diagram za prikaz primerjave maksimalnega sistoličnega krvnega tlaka (mm Hg) (a) in maksimalne srčne frekvence (utrip/min) (b).

**Picture 2.** Scatter-plot showing maximal systolic blood pressure (mm Hg) (a) and maximal heart frequency (bpm) (b).

## RAZPRAVA

V projektu smo želeli oceniti, ali po programu vadbe hoje na robotski napravi Lokomat pri otrocih in mladostnikih s CP pride do izboljšanja aerobne zmogljivosti. V skupino 16 otrok in mladostnikov smo priključili še eno preiskovanko s hereditarno spastično paraparezo, za katero je videti, da se funkcijsko ne razlikuje od značilnosti cerebralne paralize (spastičnost, težave pri koordinaciji gibanja, utrujanje, zmanjšana mišična moč) (19).

Rezultati prvega obremenitvenega testiranja vključenih preiskovancev so potrdili nižjo povprečno aerobno zmogljivost 26 ml/min/kg glede na zdrave vrstnike (20). Že dolgo je znano, da je raven aerobne zmogljivosti pri otrocih in mladostnikih s CP nižja, kar je dolgoročno povezano z večjim tveganjem za srčno-žilne bolezni v odrasli dobi (21). Z višjo stopnjo okvare osrednjega živčevja in s tem višjo stopnjo GMFCS se tveganje za srčno-žilne bolezni še povečuje. Največjo razliko v aerobni zmogljivosti glede na zdrave vrstnike so Van Eck in sodelavci (22) našli pri dekletih v pubertetnem obdobju. Menili so, da je to morda povezano z zmanjšanim interesom za telesno dejavnost v tem obdobju. Ker ima že manjša okvara osrednjega živčevja vpliv na zmožnost gibanja, mišično moč in vzdržljivost (8), s tem pa tudi na maksimalno porabo kisika ( $VO_2$  max), Verschuren in sodelavci v skupini mladostnikov v I. in II. stopnji GMFCS v aerobni zmogljivosti po vadbi niso našli razlik (8).

Glede na rezultate primerljivih raziskav v tujini je raven aerobne zmogljivosti slovenskih preiskovancev precej nižja. Predvidevamo, da sta razloga dva. Prvi je nekoliko drugačen način testiranja. Drugi, pomembnejši razlog, je gotovo ta, da otroci s CP v Sloveniji niso rutinsko vključeni v vodeno strukturirano telesno vadbo. Razmišljanje, da je strukturirana telesna vadba pomembna tudi

za otroke in mladostnike s CP, se v našem prostoru pojavlja šele v zadnjih letih. S tem namenom je bil v letih 2015 in 2016 izpeljan projekt "Aktivni Zdravi Zadovoljni" v okviru programa Norveškega finančnega mehanizma. Izdelan je bil priročnik s predlogi za prilagojeno vključevanje otrok z različnimi težavami v programe športne vadbe (23). Predvsem pri šolski populaciji otrok s CP se v praksi pogosto zgodi, da so zaradi zahtevnosti ocenjevanja pri pouku športa le-tega opravičeni in se v tem času izvaja dodatna strokovna pomoč. Drugi tak projekt, ki bo gotovo podprl vključevanje otrok s CP v programe športa, je projekt "Postani športnik", ki teče v organizaciji Zveze za šport invalidov Slovenije (24).

V štirih do sedaj objavljenih rezultatih raziskav je dosežena maksimalna poraba kisika ( $max VO_2$ ) pri otrocih in mladostnikih s CP znašala od 28 do 42 ml/min/kg (1,8-10). Te študije so bile glede na starost in funkcijske zmožnosti preiskovancev precej heterogene, zato neposredna primerjava z njihovimi rezultati ni možna. Pri vseh so opravili aerobno testiranje na tekoči preprogi, medtem ko smo obremenitveno testiranje pri naši skupini preiskovancev opravili na kolesu, ki je prilagojeno osebam z zmanjšanimi zmožnostmi gibanja. Maksimalna poraba kisika je na tekoči preprogi sicer lahko višja zaradi vključenosti večjih mišičnih skupin, vendar so si podatki o razlikah v maksimalni porabi kisika pri obeh aktivnostih nasprotujoči (25 – 27). Po nam dostopnih podatkih nihče še ni primerjal porabe kisika na tekočem traku s porabo na prilagojenem kolesu, ki otroku in mladostniku s CP, ki ne hodi ali hodi z veliko težavami, sploh omogoči sodelovanje pri obremenitvenem testiranju.

Ob ugotovljeni nizki maksimalni porabi kisika tudi ugotavljamo, da dosežena raven aerobne zmogljivosti pri vključenih preiskovancih ni zadostna za preprečevanje srčno-žilnih bolezni. Še več,

taka nizka zmogljivost pomeni tudi slabšo izhodiščno funkcionalno zmogljivost za prehod v odraslo obdobje. Po opravljeni vadbi smo ob obremenitvenem testiranju sicer ugotovili relativno in absolutno izboljšanje maksimalne porabe kisika ( $VO_2 \max$ ), vendar razlike niso bile statistično značilne. Eden od vzrokov je lahko v tem, da je šlo za relativno kratko obdobje vadbe (štiri tedne). Otroci so vadili z ustaljeno hitrostjo, v vadbo nismo vključevali intervalov z višjo obremenitvijo. To je tudi sicer v skladu z ugotovitvijo Scribbansove in sodelavcev (28), ki glede na rezultate metaanalize niso potrdili, da se učinek vztrajnostne vadbe in učinek intenzivne vadbe pomembno razlikujeta.

Srčna frekvenca je ob prvem obremenitvenem testiranju znašala povprečno 80,4 %, ob drugem pa 84,4 % maksimalne srčne frekvence. Povezanosti maksimalne srčne frekvence z doseženo aerobno zmogljivostjo nismo našli. Že pred leti je bila objavljena študija, ki je potrdila izredno visoko srčno frekvenco pri otrocih s CP v primerjavi z zdravimi vrstniki pri počasni hoji. Razlog naj bi bila slaba aerobna zmogljivost, ne moremo pa izključiti niti motnje avtonomnega živčnega sistema (29). Krvni tlak je pri prvem obremenitvenem testu naraščal počasneje. Hipertenzivne reakcije v času obremenitvenega testiranja nismo zasledili pri nobenem od preiskovancev. Pri drugem obremenitvenem testiranju je bil povprečni maksimalni krvni tlak statistično nižji. Eden od možnih vzrokov je prilagoditev avtoregulacije krvnega otoka v perifernih skeletnih mišicah med treningi, ki je pogostejša pri mlajših ljudeh (30).

Vzrok za slabše rezultate v naši raziskavi bi lahko bila nekoliko manjša motivacija preiskovancev za program avtomatizirane vadbe na Lokomatu, čeprav je po drugi strani znano, da okolje navidezne resničnosti spodbudno deluje na zavzetost pri vadbi. Otroci s CP imajo pogosto krajšo zmožnost usmerjanja pozornosti, zato je vključevanje v program, ki od njih zahteva stalno pozornost, zahtevno. Okolje navidezne resničnosti je bilo za Lokomat razvito prav v času, ko so v vadbo začeli vključevati otroke s CP (31). Brüttsch in sodelavci so tudi potrdili, da je bila uvedba okolja navidezne resničnosti pri vadbi na Lokomatu spodbudna za delo otrok (poročali so o višji motivaciji), hkrati pa so bili izboljšani tudi parametri biološke povratne zanke v fazi zamaha pri hoji (32).

Slabost predstavljene raziskave je tudi majhno število preiskovancev. Ena od omejitev za vključevanje je bila zmožnost sodelovanja pri obremenitvenem testiranju na račun nižjih kognitivnih sposobnosti ali starosti otrok. Druga omejitev je samo število otrok in mladostnikov, ki se vključujejo v program vadbe na Lokomatu – običajno je vključenih do 24 na leto (omejitve glede na kadrovske razmere na oddelku in plačilo storitev s strani Zavoda za zdravstveno zavarovanje).

## ZAKLJUČEK

V raziskavi smo, kljub manjši, heterogeni skupini preiskovancev, potrdili manjšo aerobno zmogljivost v primerjavi z zdravimi vrstniki. Rezultati nakazujejo, da bi z vadbo hoje na Lokomatu aerobno zmogljivost morda lahko izboljšali, pri čemer bi bilo

smiselno razmisliti o prilagojenem protokolu z natančneje opredeljeno intenzivnostjo vadbe. Glede na ugotovitve bi morali v program rehabilitacije, poleg obstoječe terapevtske vadbe, načrtno vključevati tudi strukturirano športno vadbo za izboljšanje splošne telesne zmogljivosti pri otrocih, odraščajočih in odraslih osebah s CP. V prihodnosti bomo raziskavo nadaljevali in vanjo vključili večje število preiskovancev. Razmišljamo tudi o podaljšanju intervala vadbe na Lokomatu.

## Literatura:

1. Barrett RS, Lichtwark GA. Gross muscle morphology and structure in spastic cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol.* 2010; 52(9): 794–804.
2. Moreau NG, Teefey SA, Damiano DL. In vivo muscle architecture and size of the rectus femoris and vastus lateralis in children and adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2009; 51(10): 800–6.
3. Brower B, Wheelton RK, Stradiotto-Parker N, Allum J. Reflex excitability and isometric force production in cerebral palsy: the effect of serial casting. *Dev Med Child Neurol.* 1988; 40(3): 168-75.
4. Wiley ME, Damiano DL. Lower -extremity strength profiles in spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 1998; 40(2): 100-7.
5. Eek MN, Beckung E. Walking ability is related to muscle strength in children with cerebral palsy. *Gait Posture.* 2008; 28(3): 366-71.
6. Smith LR, Lee KS, Ward SR, Chambers HG, Lieber RL. Hamstring contractures in children with spastic cerebral palsy result from a stiffer extracellular matrix and increased in vivo sarcomere length. *J Physiol.* 2011; 589(Pt 10): 2625–39.
7. Dayanidhi S, Dykstra PB, Lyubasyuk V, Bryon R, McKay BR, Chambers HG, Lieber RL. Reduced satellite cell number in situ in muscular contractures from children with cerebral palsy. *J Orthop Res.* 2015; 33(7): 1039-45.
8. Verschuren O, Ketelaar M, Gorter JW, Helders PJ, Takken T. Relation between physical fitness and gross motor capacity in children and adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2009; 51(11): 866-71.
9. Verschuren O, Takken T. Aerobic capacity in children and adolescents with cerebral palsy. *Res Dev Disabil.* 2010; 31(6): 1352-7.
10. Palisano R, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston M. GMFCS – E & R. Gross motor function classification system: expanded and revised. Hamilton: CanChild centre for childhood disability research, Institute for applied health sciences, McMaster University; 2007. Dostopno na: [https://www.canchild.ca/system/tenon/assets/attachments/000/000/058/original/GM-FCS-ER\\_English.pdf](https://www.canchild.ca/system/tenon/assets/attachments/000/000/058/original/GM-FCS-ER_English.pdf) (citirano 27. 11. 2019).
11. Balemans AC, Fragala-Pinkham MA, Lennon N, Thorpe D, Boyd RN, O’Neil ME, et al. Systematic review of the clinimetric properties of laboratory - and field-based aerobic and anaerobic fitness measures in children with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013; 94(2): 287-301.
12. Flores-Mateo G, Argimon JM. Evidence based practice in postgraduate healthcare education: a systematic review. *BMC Health Serv Res.* 2007; 7: 119.
13. Novak I, McIntyre S, Morgan C, Campbell L, Dark L, Morton N, et al. A systematic review of interventions for children with

- cerebral palsy: state of the evidence. *Dev Med Child Neurol.* 2013; 55(10): 885-910.
14. Meyer-Heim A, Ammann-Reiffer C, Schmartz A, Schaefer J, Sennhauser FH, Heinen F, et al. Improvement of walking abilities after robotic-assisted locomotion training in children with cerebral palsy. *Arch Dis Child.* 2009; 94(8): 615–20.
  15. Družbicki M, Rusek W, Szczepanik M, Dudek J, Snela S. Assessment of the impact of orthotic gait training on balance in children with cerebral palsy. *Acta Bioeng Biomech.* 2010; 12(2): 53-8.
  16. Borggraefe I, Schaefer JS, Klaiber M, Dabrowski E, Ammann-Reiffer C, Knecht B, et al. Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy. *Eur J Pediatr Neurol.* 2010; 14(6): 496–502.
  17. Meyer-Heim A, Ammann-Reiffer C, Schmartz A, Schaefer J, Sennhauser F H, Heinen F, et al. Improvement of walking abilities after robotic-assisted locomotion training in children with cerebral palsy. *Arch Dis Child.* 2013; 94(8): 615-20.
  18. Groleger Sršen K, Jemec Štrukl I, Pišek I, Novak Z Majdič N. Efficiency of robot assisted gait training on Lokomat for children with cerebral palsy. In: 29th EACD conference, May 17-20, 2017, Amsterdam: abstract book. Dostopno na [http://edu.eacd.org/sites/default/files/Meeting\\_Archive/Amsterdam-17/Abstractbook%20EACD-Amsterdam-2017.pdf](http://edu.eacd.org/sites/default/files/Meeting_Archive/Amsterdam-17/Abstractbook%20EACD-Amsterdam-2017.pdf) (citirano 10. 8. 2019).
  19. Fink JK. Hereditary spastic paraplegia: clinical principles and genetic advances. *Semin Neurol.* 2014; 34(3): 293-305.
  20. Unnithan VB, Katsimanis G, Evangelinou C, Kosmas C, Kandrali I, Kellis E. Effect of strength and aerobic training in children with cerebral palsy. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39(11): 1902-9.
  21. Peterson MD, Ryan JM, Hurvitz EA, Mahmoudi E. Chronic conditions in adults with cerebral palsy. *JAMA.* 2015; 314(21): 2303-5.
  22. Van Eck M, Dallmeijer AJ, Beckerman H, van den Hoven PA, Voorman JM, Becher JG. Physical activity level and related factors in adolescents with cerebral palsy. *Pediatr Exerc Sci.* 2008; 20(1): 95-106.
  23. Filipčič T, Štrumbelj B, ur. Priročnik za izvajanje interesnih programov športa otrok, mladine in odraslih s posebnimi potrebami. Ljubljana: Zveza za šport invalidov Slovenije - Paraolimpijski komite. Dostopno na: [https://www.zsis.si/wp-content/uploads/2016/10/Prirocnik\\_sportmladih.pdf](https://www.zsis.si/wp-content/uploads/2016/10/Prirocnik_sportmladih.pdf) (citirano 10. 8. 2019).
  24. Postani športnik. Ljubljana: Zveza za šport invalidov Slovenije. Dostopno na: <http://www.zsis.si/postanisportnik/> (citirano 15. 8. 2019).
  25. Maffei C, Schena F, Zaffanello M, Zoccante L, Schultz Y, Pinelli L. Maximal aerobic power during running and cycling in obese and non-obese children. *Acta Paediatr.* 1994; 83(1): 113-6.
  26. Loftin M, Sothorn M, Warren B, Udall J. Comparison of VO<sub>2</sub> peak during treadmill and cycle ergometry in severely overweight youth. *J Sports Sci Med.* 2004; 3(4): 554-60.
  27. Wingo JE, Salaga LJ, Newlin MK, Cureton KJ. Cardiovascular drift and Vo<sub>2</sub>max during cycling and walking in a temperate environment. *Aviat Space Environ Med.* 2012; 83(7): 660-6.
  28. Scribbans TD, Vecsey S, Hankinson PB, Foster WS, Gurd BJ. The effect of training intensity on VO<sub>2</sub>max in young healthy adults: a meta-regression and meta-analysis. *Int J Exerc Sci.* 2016; 9(2): 230-47.
  29. Hoofwijk M, Unnithan V, Bar-Or O. Maximal treadmill performance of children with cerebral palsy. *Ped Exerc Sci.* 1995; 7(3): 305-13.
  30. Ryan JM, Hensey O, McLoughlin B, Lyons A, Gormley J. Associations of sedentary behaviour, physical activity, blood pressure and anthropometric measures with cardiorespiratory fitness in children with cerebral palsy. *PLoS One.* 2015; 10(4): e0123267.
  31. Riener R, Lünenburger L, Maier IC, Colombo G, Dietz V. Locomotor training in subjects with sensory-motor deficits: an overview of the robotic gait orthosis Lokomat. *J Healthc Eng.* 2010; 1(2): 197-216.
  32. Brüttsch K, Koenig A, Zimmerli L, Mérillat S, Riener R, Jäncke L, et al. Virtual reality for enhancement of robot-assisted gait training in children with neurological gait disorders. *J Rehabil Med.* 2011; 43(6): 493-9.