

# SPREMEMBE PASIVNE GIBLJIVOSTI SKLEPOV SPODNJIH UDOV PRI OTROCIH S CEREBRALNO PARALIZO PO INTENZIVNI VADBI NA LOKOMATU

## CHANGES IN PASSIVE RANGE OF MOTION OF JOINTS OF THE LOWER LIMBS IN CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY AFTER AN INTENSE TRAINING PROGRAM ON THE LOKOMAT

Irena Vrečar, dipl. fiziot., Neža Majdič, dr. med., Irena Jemec Štukl, dipl. fiziot., prim. Hermina Damjan, dr. med., asist. mag. Katja Groleger Sršen, dr. med.  
Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

### Izvleček

#### Izhodišča:

Čeprav cerebralna paraliza ni napredujoča bolezen, se kot posledica okvare zgornjega motoričnega nevrona razvijejo spastično zvišan mišični tonus in s tem povezane kontrakture. Eden novejših postopkov za izboljšanje funkcije gibanja pri otrocih s cerebralno paralizo je tudi vadba hoje na robotskem sistemu Lokomat. Rezultati nekaterih raziskav kažejo, da se z vadbo na Lokomatu izboljšajo tudi obsegi pasivne gibljivosti v sklepih spodnjih udov.

#### Metode:

Analizirali smo rezultate meritev obsegov pasivne gibljivosti otrok s cerebralno paralizo, ki so vadbo opravili od novembra 2011 do oktobra 2013. Vadba je potekala štiri do petkrat tedensko, do 30 minut, štiri tedne.

#### Rezultati:

V študijo smo vključili 24 otrok. Skoraj vsi so imeli zmanjšane obsege pasivnih gibov v gležnjih v smeri dorzalne fleksije, 10 otrok je imelo zmanjšane obsege pasivnih gibov v kolenih in 16 v kolkih. Z vadbo na Lokomatu so se izboljšali obsegi pasivnih gibov v sklepih spodnjih udov. Razlike so bile statistično značilne.

### Abstract

#### Introduction:

*Although cerebral palsy is not a progressive disease, contractures and spasticity are common signs of the upper motor neuron damage. One of the recent approaches to improve the function of movement in children with cerebral palsy is automated gait training with the Lokomat. We found some data on improvement of the ranges of passive movements in the lower limbs following the Lokomat training and wanted to check what the results of our training program are.*

#### Methods:

*We compared the measurement results of the ranges of passive movements of children with cerebral palsy before and after a four-week program in the period from November 2011 to October 2013.*

#### Results:

*24 children with cerebral palsy were included in the training program. Almost all children had reduced ranges of passive dorsal flexion of foot, 10 children had reduced ranges of passive movements in the knees and 16 children in the hips. At the follow-up after the training program we found significantly improved ranges of passive movements of all joints in the lower limbs.*

Prispelo/Received: 20. 11. 2013

Sprejeto/Accepted: 3. 12. 2013

E-naslov za dopisovanje/E-mail for correspondence (IV):

irena.vrecar@ir-rs.si

**Zaključek:**

Vadba na Lokomatu je učinkovita metoda za izboljšanje obsegov pasivnih gibov v sklepih spodnjih udov.

**Ključne besede:**

cerebralna paraliza, otroci, kontrakture, pasivna gibljivost, Lokomat

**Conclusion:**

*Training program on the Lokomat is an effective method for improving the ranges of passive movements of joints of the lower limbs in children with cerebral palsy.*

**Key words:**

*cerebral palsy, children, contractures, passive range of motion, Lokomat*

**UVOD**

Dolžina mišičnih vlaken je verjetno najpomembnejša lastnost mišice, ki vpliva na njeno delovanje (1). Normalni razvoj mišice omogoča razvoj in vzdrževanje dolžine, ki je optimalna za gibanje in zmanjšuje verjetnost, da bi prišlo do pretiranega raztega in poškodbe (2). Mišica raste v dolžino z dodajanjem sarkomer na koncu miofibril. Na rast mišic vplivajo hitrost rasti kosti, količina raztega mišice, izločanje hormonov (rastni hormon, inzulin in testosteron) ter prehranjenost. Z rastjo otroka se poveča tudi trofičnost mišic; miofibrile se delijo po dolžini, posledica pa je povečanje volumna (2).

Cerebralna paraliza (CP) je nenapredujoča motnja gibanja in drže, ki je posledica okvare zgornjega motoričnega nevrona v obdobju pred porodom, med porodom ali kmalu po rojstvu. Posledično pri otroku s CP najdemo zmanjšane zmožnosti vzdrževanja drže, zmanjšane zmožnosti gibanja, zaznavanja, hranjenja, govora, vedenja in spoznavnih funkcij (3). Čeprav bolezen sama ni napredujoča, se kot posledica okvare zgornjega motoričnega nevrona razvijejo spastično zvišan mišični tonus in s tem povezane kontrakture. O kontrakturi govorimo, kadar je dolžina mišice in mehkih tkiv nesorazmerno krajša od dolžine kosti in je obseg giba v pripadajočem sklepu posledično zmanjšan. Barret v preglednem članku piše o rezultatih več študij o lastnostih mišic pri otrocih s CP in povzema, da imajo mišice pri teh otrocih manjši volumen, manjšo površino preseka, nižjo gostoto mišičnega tkiva in krajši trebuh kot pa mišice zdravih posameznikov (4). Prepričan je, da so ti rezultati pomembni zaradi teoretične povezanosti s sposobnostjo tvorjenja mišične moči in s tem povezanih zmanjšanih zmožnosti gibanja pri osebah s spastično obliko CP (4). Moreau s sodelavci je na primer raziskoval zgradbo mišic in velikost mišic rektus femoris in vastus lateralis pri otrocih in mladostnikih s cerebralno paralizo v primerjavi z zdravimi vrstniki. Meritve so pri 18 otrocih s CP in 12 zdravih otrocih opravili z ultrazvokom. Ugotovili so, da imajo otroci s CP za 30 odstotkov manjšo površino preseka mišic rektus femoris in vastus lateralis in 27 odstotkov krajšo dolžino mišičnih snopov kot zdravi otroci (5). Avtorji menijo, da imajo te spremembe pomembno vlogo pri zmanjšani zmožnosti generiranja mišične moči kot tudi pri znižani hitrosti krčenja mišice in obsega giba,

ki ga mišica kvadriceps femoris lahko izvede (5). O znižani mišični moči otrok s CP sicer poroča še več avtorjev (6–8). Nystromova in sodelavci so ugotovili, da je mišična moč najmanjša prav v mišicah za gleženj in kolk (8).

Za otroke s CP je značilno tudi, da v obdobju rasti skeletnega sistema težko vzdržujejo primerno dolžino mišic (9). Posledično imajo zmanjšan obseg gibov v posameznih sklepih. Postopno se razvijejo kontrakture v kolkih in kolenih, najpogosteje pa v gležnjih z značilnim ekvinskim položajem stopala (10). Ekvinski položaj stopala se lahko razvije zaradi premočne aktivnosti mišic plantarnih fleksorjev stopala ob pretiranem refleksu na nateg oziroma zaradi nepravilne kokontraktijske aktivnosti mišic agonistov in antagonistov giba v gležnju (11). Po drugi strani pa naj bi bil ekvinski položaj stopala tudi posledica šibkosti mišic gastrocnemius in soleus (12), še posebno pri osebah z znižanim mišičnim tonusom ali znižano mišično močjo.

Toda še vedno ostaja nejasno, kateri so tisti elementi v mišici, ki prispevajo k togosti mišice in k razvoju kontrakture (13). 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 je bil protein titin pri otrocih s CP nespremenjen, s tem pa tudi pasivne mehanske lastnosti mišičnih svežnjev. 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 bilo skladno s povečano vsebnostjo kolagena v mišicah otrok s CP, ki so jo našli z imuno-histo-kemičnimi metodami, in vsebnostjo hidroksiprolina (13). Hkrati so tudi ugotovili, 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 (13).

Omejena gibljivost v sklepih spodnjih udov je torej eden pomembnih zapletov v razvoju otrok s CP, zato želimo v terapevtski obravnavi preprečiti nastanek kontraktur in dolgoročno vzdrževati primeren obseg gibljivosti v sklepih spodnjih udov. Če pride do poslabšanja gibljivosti sklepov, imamo

v klinični praksi na voljo več konservativnih in kirurških ukrepov, s katerimi je mogoče izboljšati gibljivost v sklepkih. Med konservativnimi ukrepi so pasivno raztezanje (30 minut raztezanja na dan naj bi preprečilo izgubo sarkomer (14)), serijsko mavčenje, oprema z ortozami, električna stimulacija, uporaba botulinškega toksina in operativna korekcija (15). V novejšem času se kot terapevtska metoda za izboljšanje gibalnih veščin, obsega gibljivosti v sklepkih spodnjih udov, še posebno pa vzorca hoje uveljavlja vadba hoje na robotskem sistemu Lokomat (Hocoma AG, Volketswil, Švica) (16). Ta je na trgu dosegljiv od leta 2000, na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu RS pa ga uporabljamo od konca leta 2011. Lokomat je obojestranska robotska ortoza, ki v povezavi s tekočim trakom in z dinamično razbremenitvijo teže (prek vpetja v aktivni sistem) nadzira gibanje pacientovih nog v sagitalni ravnini (gibanje kolkov in kolen). Lokomat je opremljen še z dodatnim sistemom za pasivno oporo stopala, namenjen pacientom, ki ne zmorejo aktivne dorzalne fleksije stopala v fazi zamaha (16). Hitrost tekočega traku je sinhronizirana z gibi eksoskeleta. Lokomat Pro (z manjšimi ortozami) omogoča funkcionalno vadbo hoje za majhne otroke, katerih stegenica meri od 21 do 35 cm (16). Vadba na Lokomatu je varna, vendar se občasno vendarle pojavijo nekatere neugodne posledice. Borggraefe (17) je s sodelavci spremljal 89 preiskovancev, ki so bili vključeni v vadbo z Lokomatom. Pri 42,7 odstotka preiskovancev so našli različne neugodne posledice, najpogosteje rdečino kože na mestu manšet in bolečine v mišicah; pri dveh preiskovancih je prišlo do nastanka odprte rane na koži, pri dveh do bolečine v sklepkih, pri enem pa do bolečine v tetivi. Do resnih zapletov pri vadbi ni prišlo (17).

Podatkov o učinkovitosti vadbe na Lokomatu pri otrocih s CP je v literaturi razmeroma malo. Borggraefe s sodelavci je poročal o rezultatih tritedenske vadbe na Lokomatu pri skupini otrok in mladostnikov (18). Pomembno so se izboljšali rezultati pri podlestvici za oceno stoje (D) in podlestvici za oceno hoje, teka in skakanja (E) pri testiranju s testom za oceno grobih funkcij gibanja (angl. Gross Motor Function Measure, GMFM (19)). Izboljšanje rezultatov je bilo značilno večje pri otrocih s prvo in drugo stopnjo GMFCS v primerjavi s skupino otrok s tretjo in četrto stopnjo GMFCS (angl. Gross Motor Function Classification System, GMFCS, (20)). Izboljšanje rezultatov pri hoji, teku in skakanju je bilo značilno povezano s prehojeno razdaljo in trajanjem hoje med vadbo (18). Družbicki s sodelavci je poročal o rezultatih kontrolirane randomizirane študije o učinkovitosti avtomatizirane vadbe hoje pri otrocih s CP (21). Vključili so 52 otrok z diparetično obliko CP in jih razdelili v dve skupini: prva skupina je imela individualni program fizioterapije, druga skupina pa ob tem še avtomatizirano vadbo hoje. Slednji so ob koncu študije dosegli večjo hitrost hoje, vendar razlike niso bile statistično značilne. Obseg pasivnih gibov v sklepkih spodnjih udov se je izboljšal pri obeh skupinah, razlike med skupinama pa niso bile statistično značilne (21). O podobnih rezultatih, čeprav gre le za začetne rezultate študije, poročajo tudi Nagel in sodelavci (22).

Eden izmed rezultatov vadbe na Lokomatu, o katerem poročajo različni avtorji, je znižanje sicer spastično zvišanega mišičnega tonusa. Mirbagheri s sodelavci je poročal, da se je refleksna togost mišic pri preiskovancih po okvari hrbtenjače zmanjšala tudi do 65 odstotkov po štiritedenskem program vadbe na Lokomatu (23). Prav tako se je pomembno zmanjšala mišici lastna togost (intrinzična), tudi do 60 odstotkov (23). Tudi Schmartzova s sodelavci je poročala o znižanju mišičnega tonusa pri skupini otrok s spastično obliko CP, čeprav so v študiji pravzaprav preverjali občutljivost testa za oceno spastičnosti (24).

Redno vadbo na Lokomatu za otroke s CP smo na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu RS začeli novembra 2011. Pri rednem kliničnem delu smo opazili, da se je pri otrocih, ki so imeli ob začetku vadbe kontrakture v sklepkih spodnjih udov, obseg pasivnih gibov po končani vadbi povečal. Ker smo o izboljšanju obsegov pasivnih gibov v sklepkih spodnjih udov pri otrocih s CP po vadbi avtomatizirane hoje na Lokomatu v literaturi našli le nekaj podatkov, smo želeli bolj natančno analizirati te spremembe pri otrocih s CP, ki so bili vključeni v program intenzivne vadbe na robotskem sistemu Lokomat pri nas.

## METODE

### Preiskovanci

V študiji smo retrospektivno iz dokumentacije zbrali in pregledali rezultate meritev pasivne gibljivosti sklepov spodnjih udov pri skupini otrok in mladostnikov s CP (do starosti 18 let), ko so bili v vadbo hoje na robotskem sistemu Lokomat vključeni od novembra 2011 do oktobra 2013. Otroci in mladostniki so imeli zelo različne vzorce gibanja, ki so odstopali od normalnega vzorca hoje. Za vključitev otrok v program vadbe na Lokomatu smo sicer upoštevali te kriterije: težave pri hoji, zvišan mišični tonus in zmanjšana pasivna gibljivost vsaj v enem ali več sklepkih spodnjih udov. Izključitveni dejavniki: prekratka stegenica (manj kot 21 cm), izrazita motnja pozornosti, pomembno znižane zmožnosti razumevanja in sodelovanja v programu, rigidne kontrakture več kot 20° v kolkah ali kolenih, primarni fleksijski vzorec drže in gibanja (znižanje spastično zvišanega tonusa pri treningu na robotskem sistemu Lokomat lahko povzroči pomembno poslabšanje vzorca hoje).

### Meritve in protokol dela

Otrok je pred vključitvijo v program opravil pregled pri eni izmed oddelčnih zdravnic, specialistk fizikalne in rehabilitacijske medicine, ki je otroka z diagnozo cerebralna paraliza na podlagi sposobnosti gibanja razvrstila v eno izmed petih stopenj GMFCS. Nato smo opravili merjenje obsega pasivnih gibov v posameznih sklepkih spodnjih udov. Upoštevali smo, da je to tisti obseg giba, ki ga preiskovalec izvede brez

hotene mišične aktivnosti preiskovanca. Za meritve smo uporabili goniometer. Izmerili smo te pasivne obsege gibov: fleksijo in ekstenzijo kolčnega sklepa, fleksijo in ekstenzijo kolenskega sklepa, unilateralni in bilateralni poplitealni kot, dorzalno fleksijo zgornjega skočnega sklepa pri pokrčenem in pri iztegnjenem kolenu. Unilateralni poplitealni kot v kolenu smo izmerili tako, da je bil pri merjeni nogi kolk pod kotom 90°, nasprotna noga pa je bila iztegnjena na podlagi. Bilateralni poplitealni kot kolena smo izmerili tako, da sta bila kolka obeh nog pokrčena za 90°. Nogo, na kateri smo merili poplitealni kot, smo v obeh primerih meritve iztegovali v kolenu, dokler nismo začutili povečanega upora oziroma tako imenovanega konca giba.

Otroci so bili po opravljenih začetnih meritvah vključeni v program vadbe na robotskem sistemu Lokomat. Opravili naj bi od štiri do pet vadb na teden, v obdobju štirih tednov rehabilitacije. Glede na otrokove sposobnosti (utrujenost med vadbo, sposobnost aktivne hoje na Lokomatu, sposobnost tekočega recipročnega gibanja, spastično zvišan tonus mišic) smo prilagodili dolžino posamezne vadbe (od 30 do 50 minut), hitrost hoje, prehojeno razdaljo in razbremenitev teže. Po končanem programu smo ponovili meritve obsega pasivnih gibov v kolkih, kolenih in gležnjih.

Za obravnavane spremenljivke smo izračunali opisne statistike. Za primerjavo povprečnih vrednosti spremenljivk za

skupino vključenih otrok pred vadbo na Lokomatu in po njej smo uporabili parni test  $t$ . Mejo statistične značilnosti smo postavili pri  $p = 0,05$ . Za analizo smo uporabili programski paket R studio (R version 2.15.3) (25).

## REZULTATI

Od novembra 2011 do oktobra 2013 smo v vadbo hoje na robotskem sistemu Lokomat vključili 24 otrok s cerebralno paralizo (10 deklic in 14 dečkov), starih povprečno 12,0 let (standardni odklon 4,0). Razvrstili smo jih glede na grobe gibalne sposobnosti (GMFCS) (tabela 1). Meritve obsegov pasivnih gibov so pokazale, da je imela več kot polovica otrok kontrakturo v kolku in skoraj vsi zmanjšane obsege pasivnih gibov v gležnju (tabela 1).

Otroci so v štiritedenskem programu opravili od 14 do največ 20 treningov, v povprečju pa 16 treningov. Po končani vadbi smo ponovili meritve obsegov pasivnih gibov. V tabeli 2 so predstavljene povprečne vrednosti obsegov pasivnih gibov v kolkih in kolenih ter izboljšanje obsega gibljivosti po končani vadbi na Lokomatu. Zmanjšanje kontraktur v kolkih je bilo statistično značilno ( $p < 0,01$ ), medtem ko je bilo zmanjšanje kontraktur v levem kolenu mejno značilno ( $p = 0,05$ ), v desnem pa ni bilo statistično značilno ( $p = 0,168$ ).

**Tabela 1:** Število otrok v posamezni stopnji GMFCS in število otrok s kontrakturo v posameznem sklepu.

Stopnja GMFCS	Št. otrok	Kontrakture sklepnih in obsklepnih struktur					
		L kolk	D kolk	L koleno	D koleno	L gleženj	D gleženj
I.	2	0	0	0	0	2	2
II.	4	1	1	1	1	4	4
III.	8	6	6	3	4	8	8
IV.	10	10	10	5	5	7	9
Skupno	24	17	17	9	10	21	23

Legenda: L – levo, D – desno.

**Tabela 2:** Rezultati meritev pasivnega obsega giba v kolku in kolenu pred opravljeno vadbo na robotskem sistemu Lokomat in po njej.

			Povprečje	SD	Me	Min	Max
			Kolk	Levo	Pred treningom	14,4°	6,3
Po treningu	7,5°	5,2			5°	0°	20°
Izboljšanje	6,9°	4,0			5°	0°	15°
Desno	Pred treningom	12,8°		6,6	10°	5°	25°
	Po treningu	6,6°		7,0	5°	0°	25°
	Izboljšanje	6,3°		5,3	5°	0°	20°
Koleno	Levo	Pred treningom	15,0°	7,1	15°	5°	30°
		Po treningu	11,7°	6,1	10°	5°	20°
		Izboljšanje	3,3°	4,3	0°	0°	10°
	Desno	Pred treningom	12,5°	6,3	10°	5°	25°
		Po treningu	10,5°	7,6	7,5°	0°	20°
		Izboljšanje	2,0°	4,2	5°	-5°	5°

Legenda: SD – standardni odklon, Me – mediana, Min – najmanjša vrednost, Max – največja vrednost.

Meritve poplitealnih kotov so pokazale, da je imelo ob začetku vadbe 11 otrok zmanjšan obseg poplitealnih kotov. V tabeli 3 so predstavljeni povprečne vrednosti unilateralnih in bilateralnih poplitealnih kotov vseh otrok ter izboljšanje gibljivosti po končani vadbi na Lokomatu. Razlike med začetnimi in končnimi vrednostmi so bile visoko statistično značilne ( $p < 0,01$ ).

Rezultati meritev obsega pasivne dorzalne fleksije skočnega sklepa pri pokrčenem in iztegnjenem kolenu pri vseh vključenih otrocih so predstavljene v tabeli 4. Razlike med začetnimi in končnimi vrednostmi obsega gibov so bile visoko statistično značilne ( $p < 0,01$ ).

## RAZPRAVA

Želeli smo torej natančneje analizirati spremembe obsegov pasivnih gibov v sklepih spodnjih udov pri otrocih s cerebralno paralizo, ki so opravili program štiritedenske vadbe na Lokomatu. Znano je, da imajo otroci v nižjih stopnjah

GMFCS redkeje kontrakture v primerjavi z otroki v višjih stopnjah (26). S tem so skladni tudi naši rezultati meritev pasivne gibljivosti sklepov spodnjih udov, vendar je število otrok v posamezni stopnji GMFCS premajhno, da bi rezultate lahko primerjali med seboj. Že iz podatka o zmanjšanih obsegih pasivnih gibov v posameznem sklepu (tabela 1) pa je razvidno, da so ti pogostejši pri otrocih v višjih stopnjah GMFCS in da so najpogostejši prav v gležnju. Praktično vsi otroci, ki smo jih vključili v vadbo na robotskem sistemu Lokomat, razen enega, so imeli zmanjšan obseg pasivne dorzifleksije v skočnem sklepu (pri iztegnjenem kolenu manj kot  $20^\circ$ , pogosto pa ni bilo mogoče dobiti niti srednjega položaja stopala med plantarno in dorzalno fleksijo). Tudi ta podatek je v skladu s podatki iz literature. Park namreč navaja, da je pri otrocih s CP najpogostejša prav kontraktura v gležnju (10).

Glede na to smo pričakovano ugotovili, da je tudi pogostnost zmanjšanih obsegov pasivnih gibov v kolčnih sklepih naraščala s stopnjo GMFCS. Otroci s CP v višjih stopnjah GMFCS imajo pomembno zmanjšane zmožnosti nadzorovanja položaja trupa in selektivnega gibanja v

**Tabela 3:** Rezultati meritev poplitealnega kota pred opravljeno vadbo na robotskem sistemu Lokomat in po njej.

			Povprečje	SD	Me	Min	Max
Levo	Bilateralni	Pred treningom	147,2°	13,6	150°	115°	170°
		Po treningu	155,2°	14,6	155°	130°	180°
		Izboljšanje	8,0°	7,8	10°	-10°	25°
	Unilateralni	Pred treningom	131,7°	13,4	130°	110°	165°
		Po treningu	137,2°	13,2	135°	110°	160°
		Izboljšanje	5,6°	7,8	5°	-10°	20°
Desno	Bilateralni	Pred treningom	148,3°	13,8	150°	125°	170°
		Po treningu	154,4°	13,2	155°	130°	180°
		Izboljšanje	6,1°	8,6	5°	-10°	30°
	Unilateralni	Pred treningom	131,1°	12,0	130°	115°	155°
		Po treningu	135,6°	12,8	135°	115°	165°
		Izboljšanje	4,4°	6,7	5°	-10°	15°

Legenda: SD – standardni odklon, Me – mediana, Min – najmanjša vrednost, Max – največja vrednost.

**Tabela 4:** Rezultati meritev dorzifleksije stopal pri pokrčenem in iztegnjenem kolenu pred opravljeno vadbo na robotskem sistemu Lokomat in po njej.

			Povprečje	SD	Me	Min	Max
Levo	Iztegnjeno koleno	Pred treningom	8,0°	9,4	10°	-10°	25°
		Po treningu	11,3°	9,1	10°	-10°	35°
		Izboljšanje	3,3°	5,7	0°	-5°	15°
	Pokrčeno koleno	Pred treningom	19,3°	11,3	20°	-10°	40°
		Po treningu	23,0°	10,7	20°	-5°	50°
		Izboljšanje	3,7°	5,5	0°	0°	20°
Desno	Iztegnjeno koleno	Pred treningom	6,9°	9,1	5°	-10°	40°
		Po treningu	10,6°	7,8	10°	0°	40°
		Izboljšanje	3,7°	5,5	5°	-5°	20°
	Pokrčeno koleno	Pred treningom	19,1°	9,1	20°	5°	40°
		Po treningu	22,6°	8,1	20°	10°	40°
		Izboljšanje	3,5°	4,8	5°	-5°	15°

Legenda: : SD – standardni odklon, Me – mediana, Min – najmanjša vrednost, Max – največja vrednost.

kolčnih in drugih sklepah spodnjih udov. Tudi ti rezultati so skladni z rezultati študije, o katerih so poročale Østjensø in sodelavke (26). Avtorice tudi menijo, da bi na podlagi rezultatov merjenja obsega pasivnih gibov v sklepih spodnjih udov lahko sklepali o tem, kakšna je stopnja okvare spodnjih udov in bi nam ti podatki lahko služili za načrtovanje terapevtskih programov in spremljanje njihove učinkovitosti (26).

Pri analizi obsegov poplitealnih kotov in obsegov pasivnih gibov v gležnjih nismo vključili le otrok s kontrakturami, temveč vse otroke, ki so opravili program vadbe na Lokomatu. Želeli smo izvedeti, ali do povečanja obsega giba pride pri vseh otrocih. Pri meritvah obsega giba v kolku in kolenu pa tega nismo naredili, ker je normalen obseg iztega v kolku in kolenu navadno tudi največji in nismo pričakovali, da bi zaradi vadbe na Lokomatu lahko prišlo do pretiranega raztezanja in, na primer, hiperekstenzije v kolenu. Rezultati meritev po zaključeni vadbi na Lokomatu so pokazali, da je prišlo do statistično značilnega izboljšanja pasivnega obsega giba in s tem zmanjšanja kontraktur v kolkah in gležnjih. Zmanjšanje kontraktur v kolenih je bilo mejno statistično značilno oziroma neznačilno, ob tem pa se je obseg poplitealnih kotov, unilateralnih in bilateralnih, statistično značilno povečal. Podatek o poplitealnem kotu nam sicer pove, ali je pri otroku prisotna kontraktura mišic semimembranosus, semitendinosus in biceps femoris (v angleščini skupni izraz »hamstrings«). Katz s sodelavci je edini, ki je v obširni študiji opravil merjenje poplitealnih kotov pri zdravih otrocih (27). Vključil je 482 otrok in ugotovil, da so referenčne vrednosti za otroke, stare med enim in tremi leti, od 180° do 165°. Pri starosti štiri leta se te vrednosti zmanjšajo do 163° pri deklicah oziroma do 153° pri dečkih (razpon med 175° in 135°). Po petem letu meri obseg poplitealnega kota 130°, manjši kot pa pomeni kontrakturo (27). Otroci, ki smo jih vključili v študijo, so bili povprečno stari 12 let, zato smo za referenčno vrednost vzeli poplitealni kot najmanj 130°.

Če torej povzamemo, smo ugotovili, da se je po programu vadbe na Lokomatu pomembno izboljšala gibljivost v kolkah in gležnjih ter da so se povečali poplitealni koti. Do podobnih rezultatov, čeprav gre le za začetne rezultate študije, so prišli tudi Nagel in sodelavci (22). Analizirali so rezultate 10 otrok s CP, ki so bili vključeni v vadbo na Lokomatu. V protokol spremljanja učinkov vadbe so vključili računalniško analizo s sistemom Vicon (Oxford Metrics), oceno grobih gibalnih veščin s testom GMFM in merjenje obsegov pasivnih gibov spodnjih udov. Ugotovili so, da so imeli otroci po končani vadbi povečan obseg poplitealnih kotov, zmanjšano spastičnost ocenjeno s testom po Tardieuju in izboljšane rezultate testiranja s testom GMFM (podlestvica za oceno sedenja in podlestvica za oceno hoje, teka in skakanja). Računalniška analiza hoje je pokazala izboljšanje simetrije hoje za povprečno 5 odstotkov ob upoštevanju ciklusa hoje v fazi opore in fazi zamaha (22). Pri nekaj otrocih, ki so v naši študiji opravili vadbo na

Lokomatu, smo opravili tudi računalniško analizo hoje (sistem Vicon), vendar ti rezultati niso vključeni v tokratni prispevek. Kljub temu lahko zapišemo, da se ugotovitve o boljši simetriji hoje, o katerih poroča Nagel, ujemajo z našimi ugotovitvami.

Glede na izboljšanje rezultatov meritev pasivnih gibov pri skoraj vseh sklepih lahko rečemo, da vadba na Lokomatu pomembno izboljša obseg pasivnih gibov. Lahko bi sklepali, da je to posledica podaljšanja mišičnih vlaken (morda dolžine trebuha mišice), vendar tega ne moremo trditi zagotovo. Morda gre za spremembe v togosti mišic, ki je odvisna od vsebnosti kolagena v zunajceličnem matriksu (13). Zanimivo bi bilo vedeti tudi, ali se je na primer spremenil volumen mišic spodnjih udov in ali se je povečala površina prečnega preseka, ki sta pri otrocih s CP sicer značilno zmanjšana (4, 5), vendar takega ocenjevanja učinkov v protokolu rednega kliničnega dela nismo predvideli. Bonato v svojem prispevku razpravlja o možnih mehanizmih, prek katerih učinkuje vadba na sistemih za avtomatizirano, z robotom podprto hojo pri otrocih s CP (28). Videti je, da na učinke pomembno vplivajo otrokove zmožnosti gibanja (stopnja GMFCS) in druge individualne značilnosti gibanja, ki so tako večplastne, da jih je verjetno težko natančno opredeliti. Vsekakor na rezultate vadbe lahko vplivajo otrokov značilen in njemu lastni vzorec hoje, mehanične lastnosti robotskega sistema, raven otrokove aktivnosti med izvedbo posameznega treninga in otrokove sposobnosti, da razvija strategije prilagajanja v odgovor na sile, ki jih generira robotski sistem. Bonato opozarja, da so bile prav slednje v preteklih raziskavah spregledane, in meni, da bi bilo treba razviti ustrezno metodologijo, s katero bi lahko ocenili sposobnost otrok s CP, da se odzivajo na sile, ki jih generira robotski sistem za avtomatiziran trening hoje (28).

Ker v protokolu dela ob uvajanja programa vadbe na Lokomatu v redno klinično prakso nismo predvideli ocene grobih gibalnih sposobnosti s testom GMFM, ki je v svetu uveljavljen test za oceno grobih gibalnih sposobnosti, teh podatkov za skupino v študijo vključenih otrok s CP nimamo. Prepričani smo, da bi bilo to v nadaljevanju rednega kliničnega, še bolj pa raziskovalnega dela, nujno potrebno.

Za otroke s CP v višjih stopnjah GMFCS so poleg pogostejših kontraktur značilni tudi pogostejše spastično zvišan mišični tonus in zmanjšane sposobnosti selektivne kontrole gibanja (26). Glede na to bi bilo smiselno ocenjevati tudi stopnjo spastičnosti. Čeprav nekaj avtorjev študij (23, 24) poroča o tem, da se ob vadbi na Lokomatu zniža spastično povišan tonus mišic, je glede na podatke o nezadostni zanesljivosti ocenjevanja tonusa z modificirano Asworthovo lestvico (29, 30), njena uporaba vprašljiva. Morda bo v prihodnosti na voljo zanesljivejši način ocene spastičnosti. Nekaj avtorjev namreč poroča o preskušanju drugih testov in celo protokola za ocenjevanje togosti mišic med vadbo na Lokomatu (24, 25).

## ZAKLJUČEK

Obsegi pasivnih gibov so se pri otrocih s cerebralno paralizno, ki so opravili štiritedenski program vadbe na robotskem sistemu Lokomat, v vseh sklepih spodnjih udov statistično pomembno izboljšali. V nadaljevanju klinične prakse bi učinke vadbe morali spremljati tudi s testom GMFM za ocenjevanje grobih gibalnih funkcij.

## Literatura:

- Foran JRH, Steinman S, Barash I, Lieber RL. Structural and mechanical alterations in spastic skeletal muscle. *Dev Med Child Neurol* 2005; 47: 713–7.
- McComas AJ, Muscle formation. V: *Skeletal muscle: form and function*. Champaign: Human Kinetics; 1996. p. 68–72.
- Carr LJ, Reddy SK, Stevens S, Blair E, Love S. Definition and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neur* 2005; 47: 508–10.
- Barrett RS, Lichtwark GA. Gross muscle morphology and structure in spastic cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neur* 2010; 52: 794–804.
- 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 Neur* 2009; 51: 800–6.
- Brower B, Wheeldon RK, Stradiotto-Parker N, Allum J. Reflex excitability and isometric force production in cerebral palsy: the effect of serial casting. *Dev Med Child Neur* 1988; 40: 168–75.
- Wiley ME, Damiano DL. Lower-extremity strength profiles in spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neur* 1998; 40: 100–7.
- Nyström Eek M, Beckung E. Walking ability is related to muscle strength in children with cerebral palsy. *Gait Posture* 2008; 28: 366–71.
- Blackmore AM, Boettcher-Hunt E, Jordan M, Chan MDY. A systematic review of the effects of casting on equinus in children with cerebral palsy: an evidence report of the AACPD. *Dev Med Child Neur* 2007; 49: 781–90.
- Park ES, Rha D, Yoo JK, Kim SM, Chang WH, Song SH. Short-term effects of combined serial casting and botulinum toxin injection for spastic equinus in ambulatory children with cerebral palsy. *Yonsei Med J* 2010; 51: 579–84.
- Singer BJ, Singer KP, Allison GT. Evaluation of extensibility, passive torque and stretch reflex responses in triceps surae muscles following serial casting to correct spastic equinovarus deformity. *Brain Inj* 2003; 17: 309–24.
- Kerrigan DC, Riley PO, Rogan S, Burke DT. Compensatory advantages of toe-walking. *Arch Phys Med Rehab* 2000; 81: 38–44.
- 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: 2625–39.
- Williams PE, Catanese T, Lucey E, Goldspink G. The importance of stretch and contractile activity in the prevention of connective tissue accumulation in muscle. *J Anat* 1988; 158: 109–14.
- Farmer SE, James M. Contractures in orthopaedic and neurological conditions: a review of causes and treatment. *Disabil Rehabil* 2001; 23: 549–58.
- Hocoma. Volketswil: Hocoma; c2007. Dostopno na <http://www.hocoma.com/> (10. 11. 2013).
- Borggraefe I, Klaiber M, Schuler T, Warken B, Schroeder SA, Heinen F, Meyer-Heim A. Safety of robotic-assisted treadmill therapy in children and adolescents with gait impairment: a bi-centre survey. *Dev Neurorehabil* 2010; 13: 114–9.
- Borggraefe I, Schaefer JS, Klaiber M, Dabrowski E, Ammann-Reiffer C, Knecht B, Berweck S, Heinen F, Meyer-Heim A. Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol* 2010; 14: 496–502.
- Russell DJ, Rosenbaum PL, Avery LM, Lane M. Gross motor function measure (GMFM-66 & GMFM-88) user's manual. London: Mac Keith; 2002.
- Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, et al. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neur* 1997; 39: 214–23.
- Druzbecki M, Rusek W, Snela S, Dudek J, Szczepanik M, Zak E, Durmala J, Czernuszenko A, Bonikowski M, Sobota Grzegorz. Functional effects of robotic-assisted locomotor treadmill therapy in children with cerebral palsy. *J Rehab Med* 2013; 45: 358–63.
- Nagel A, Dercks M, Sprinz A. Robotic-assisted gait training improves gait parameters and functional mobil-

- ity in patients with cerebral palsy – preliminary results of a longitudinal study. *Neuropediatrics* 2010; 4: 1365.
23. Mirbagheri MM, Ness LL, Patel C, Quiney K, Rymer WZ. The effects of robotic-assisted locomotor training on spasticity and volitional control. V: *Rehab Week 2011; INRS 2011 – International Neurorehabilitation Symposium 2011 and ICVR 2011 – International Conference on Virtual Rehabilitation 2011 and ICORR 2011 – 2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, Zurich, 29th June – 1st July 2011*. Piscataway: IEEE, 2011: 1–4.
  24. Schmartz AC, Meyer-Heim AD, Müller R, Bolliger M. Measurement of muscle stiffness using robotic assisted gait orthosis in children with cerebral palsy: a proof of concept. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2011; 6: 29–37.
  25. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2013. Dostopno na <http://www.r-project.org/>
  26. Østjensø S, Carlberg EB, Vøllestad NK. Motor impairments in young children with cerebral palsy: relationship to gross motor function and everyday activities. *Dev Med Child Neur* 2004; 46: 580–589.
  27. Katz K, Rosenthal A, Yosipovitch Z. Normal ranges of popliteal angle in children. *J Pediatr Orthop* 1992; 12: 229–31.
  28. Bonato P. Unravelling mechanisms underlying the effectiveness of robot-assisted gait training in children with cerebral palsy. V: Pons JL, Torricelli D, Pajaro M, eds. *Converging clinical and engineering research on neurorehabilitation. International Conference on Neurorehabilitation, Toledo, November 14-16, 2012*. Heidelberg: Springer, 2013; 1: 1139–42.
  29. Yam WKL, Ling AHM, Leung MSM. Interrater reliability of Modified Ashworth Scale and Modified Tardieu Scale in children with spastic cerebral palsy. *J Child Neurol* 2006; 21: 1031–5.
  30. Flamand VH, Massé-Alarie H, Schneider C. Psychometric evidence of spasticity measurement tools in cerebral palsy children and adolescents: a systematic review. *J Rehabil Med* 2013; 45: 14–23.