

UČINKOVITOST VADBE AVTOMATIZIRANE HOJE NA LOKOMATU® PRI OTROCIH (PREGLED DELA ZADNJIH 10 LET)

EFFECTIVENESS OF AUTOMATED GAIT TRAINING FOR CHILDREN USING THE LOKOMAT DEVICE (OVERVIEW OF THE LAST 10 YEARS OF PRACTICE)

doc. dr. Katja Groleger Sršen^{1,2}, dr. med., Varja Flander¹, dipl. fiziot., Irena Pišek¹, dipl. fiziot., Nataša Ciber¹, dipl. fiziot., dr. Neža Majdič¹, dr. med.

¹Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

²Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta

Povzetek

Izhodišča:

Za otroke s cerebralno paralizo so značilne zmanjšane zmožnosti grobega gibanja, vključno s stojo in hojo. Ena od sedaj že uveljavljenih metod za izboljšanje funkcij grobega gibanja pri otrocih s cerebralno paralizo je vadba avtomatizirane hoje na robotsko vodeni napravi Lokomat®. V raziskavi smo želeli analizirati učinke te vadbe pri otrocih, ki so bili vanjo vključeni v zadnjih desetih letih.

Metode:

Analizirali smo rezultate meritev obsegov pasivnih gibov in testov hoje otrok, ki so vadbo opravili v obdobju od novembra 2011 do novembra 2021.

Rezultati:

V raziskavo smo vključili 122 otrok. Z vadbo na Lokomatu se je zmanjšal delež otrok s kontrakturami v kolkih in kolenih. Izboljšali so se poplitealni koti in gibljivost v skočnih sklepih. Otroci so dosegli tudi boljše rezultate pri Časovno merjenem testu vstani in pojdi, Testu hoje na 10 metrov in 6-minutnem testu hoje. Razlike so bile statistično značilne, pri prvih dveh testih hoje tudi klinično pomembne.

Zaključek:

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

Abstract

Introduction:

Children with cerebral palsy are characterised by impaired gross motor function, including standing and walking. One of the well-established methods for improving the functions of gross movement in children with cerebral palsy is the practice of automated walking on a robot-guided device – the Lokomat. In this study, we wanted to analyse the effects of this exercise in children who have been involved in the program during the last ten years.

Methods:

We analysed the measurements of the range of passive movements and the results of walking tests of children who performed the exercise in the period from November 2011 to November 2021.

Results:

We included 122 children in the study. Exercise on the Lokomat reduced the proportion of children with hip and knee contractures, improved popliteal angles and mobility in the ankle joints. The children also achieved better results on the Timed Up and Go Test, the 10-meter Walking Test, and the 6-minute Walking Test. The differences were statistically significant; they were clinically important on the first two tests.

Conclusion:

Exercise on the Lokomat is probably an effective method for improving the range of passive movements in the joints of the

in izboljšanje zmožnosti hoje, vendar je treba upoštevati, da v raziskavo nismo vključili kontrolne skupine, poleg tega pa je nekaj otrok ob vadbi na Lokomatu imelo tudi program fizioterapije.

Ključne besede:

cerebralna paraliza; otrok; robotsko podprta vadba hoje; Lokomat

lower limbs and improving the ability to walk, but it should be noted that we did not include a control group in the study, and some children also had a physiotherapy program while exercising on the Lokomat.

Key words:

cerebral palsy; children; robot-assisted gait training; Lokomat

UVOD

Cerebralna paraliza (CP) je posledica okvare otrokovih možganov v obdobju pred porodom, med porodom ali kmalu po rojstvu. Posledično pri otroku s CP najdemo zmanjšane zmožnosti nadzora drže, gibanja, zaznavanja, hranjenja, govora, vedenja in spoznavnih funkcij (1). Čeprav okvara možganov ni napredujoča, se zmožnosti grobega gibanja, mišična moč in gibljivost sklepov z leti lahko še poslabšujejo. Znano je, da v obdobju rasti skeletnega sistema otroci s CP težko vzdržujejo primerno dolžino mišic (2), zaradi česar se sčasoma razvije zmanjšan obseg gibov v kolkih in kolenih, najpogosteje pa v gležnjih (3). V slednjih se zaradi premočne aktivnosti plantarnih fleksorjev stopala ob pretiranem refleksu na nateg oz. nepravilne ko-kontrakcijske aktivnosti agonistov in antagonistov giba v gležnju razvije ekvinusni položaj oz. vzorec hoje po prstih (4, 5).

Otroci s CP imajo tudi strukturno spremenjene mišice. Te imajo manjši volumen, manjšo površino preseka, nižjo gostoto tkiva in krajši trebuh kot pa mišice zdravih posameznikov (6, 7), kar vpliva na zmanjšano zmožnost generiranja mišične moči (8–10), znižano hitrost krčenja mišice in zmanjšan obseg giba, ki ga mišica lahko izvede (7). Nyströmova in sodelavci so ugotovili, da je mišična moč najmanjša prav v mišicah za gleženj in kolk (10). Vendar še vedno ostaja nejasno, kateri so tisti elementi v mišici, ki dajejo občutek togosti mišice in prispevajo k razvoju kontrakture (11). Zdi se, da imajo otroci s CP povišane vrednosti citokinov, ki prispevajo k vnetnemu odgovoru, in gene, ki vplivajo na zunajcelični matriks njihovih skeletnih mišic, v kombinaciji s povečanim deležem intramuskularnega kolagena in zmanjšano proizvodnjo ribosomov (12). Ugotovili so tudi, da je protein titin pri otrocih s CP nespremenjen in s tem tudi pasivne mehanske lastnosti mišičnih snopov. Hkrati so bili mišični snopi, ki vključujejo mišična vlakna in pripadajoči zunajcelični matriks, bolj togi kot pri zdravih otrocih. To je bilo skladno s povečano vsebnostjo kolagena v mišicah otrok s CP, ki so jo našli z imunohistokemičnimi metodami, in vsebnostjo hidroksiprolina (13). Ugotovili so tudi, da so 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 eden od 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 se gibljivost v skočnih sklepih poslabša, je na voljo serijsko mavčenje z uporabo toksina botulina, katerega učinkovitost je podprta s trdnimi dokazi (11), ali brez nje. Za izboljšanje grobega gibanja (in posredno za zmožnost vzdrževanja obsega gibljivosti v sklepih) je, po zadnjem pregledu raziskav Novakove s sodelavci, otroke s CP priporočeno vključevati v usmerjeno vadbo posameznih izbranih aktivnosti grobega gibanja, v vadbo za izboljšanje mišične moči in vadbo na tekočem traku z delno razbremenitvijo telesne teže ali brez nje, v vadbo v navidezni resničnosti, v prilagojene športne dejavnosti, uporabiti toksin botulina v povezavi s fizioterapijo in jih opremiti z ortozami (11).

Vadba avtomatizirane, robotsko podprte hoje v navidezni resničnosti dandanes ni več novost. Ena od naprav, ki omogočajo takšno vadbo, je Lokomat® (14), ki je dosegljiv na trgu od leta 2000. Na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu RS – Soča ga uporabljamo od konca leta 2011. Lokomat je obojestranska robotska ortoza, ki v povezavi s tekočim trakom in z dinamično razbremenitvijo teže (preko vpetja v aktivni sistem) nadzira gibanje nog v sagitalni ravnini (gibanje kolkov in kolen). Opremljen je z dodatnim sistemom za pasivno oporo stopala, če uporabnik ne zmore aktivne dorzalne fleksije stopala v fazi zamaha (14). Hitrost tekočega traku je sinhronizirana z gibi »eksoskeleta«. Lokomat Pro (z manjšimi ortozami) omogoča funkcionalno vadbo hoje za otroke, pri čemer mora stegenica meriti od 21 do 35 cm (14). Vadba na Lokomatu je varna, vendar se občasno vendarle pojavijo nekatere neugodne posledice. Borggraefe s sodelavci je poročal, da so pri 42,7 % preiskovancev najpogosteje naleteli na 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 sklepih, pri enem pa do bolečine v področju tetive. Do resnih zapletov pri vadbi ni prišlo (15).

Na voljo je kar nekaj raziskav o učinkovitosti vadbe na Lokomatu pri otrocih s CP. Avtorji poročajo o napredku otrok na področju grobega gibanja (16–18), vendar so si podatki nasprotujoči. Čeprav so Borggraefe in sodelavci (16) poročali, da so po vadbi

na Lokomatu najbolj napredovali otroci, ki so bili razvrščeni v 1. in 2. stopnjo GMFCS, so van Hedel in sodelavci ugotovili, da je bil napredek največji pri otrocih v 4. stopnji GMFCS (19). Podatkov o tem, ali je 20 vadbenih enot dovolj, še ni, je pa videti, da večje število vadbenih enot omogoča večji napredek (18), ki je odvisen od stopnje GMFCS.

Družbicki in sodelavci so poročali, da so se pri na Lokomatu vadečih otrocih izboljšali hitrost hoje in obsegi pasivnih gibov v sklepih spodnjih udov, vendar ne značilno drugače kot pri otrocih, ki so bili vključeni v fizioterapijo (17). Nasprotno so Wallard in sodelavci (20) ugotovili, da so otroci z vadbo na Lokomatu dosegli pomembno boljše rezultate kot kontrolna skupina, ki je imela le običajni program fizioterapije (kinematični podatki o gibanju telesa v sagitalni in frontalni ravnini in rezultati Testa za oceno grobih zmožnosti gibanja – angl. Gross Motor Function Measure, GMFM) (21). Po vadbi na Lokomatu so otroci pri hoji uporabljali nove dinamične strategije, z bolj primernim nadzorom zgornjega dela telesa in z izboljšanjem kinematike spodnjih udov (20).

Redno vadbo na Lokomatu za otroke s CP smo na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu RS začeli novembra leta 2011. Pri rednem kliničnem delu smo opazili, da se je pri otrocih, ki so imeli ob začetku vadbe kontrakturo v sklepih spodnjih udov, obseg pasivnih gibov po zaključeni vadbi povečal. Ob prejšnjih analizah podatkov smo tudi potrdili, da otroci z vadbo na Lokomatu dobro napredujejo, pri čemer so se izboljšale tako grobe gibalne zmožnosti (22) kot zmožnosti vstajanja (23), čeprav je bil vzorec v analizo vključenih otrok majhen. Ker vadbo na Lokomatu izvajamo že 10 let, smo z analizo večjega vzorca otrok zato želeli bolj natančno oceniti, kakšen je vpliv te vadbe na obseg gibljivosti sklepov spodnjih udov. Poleg tega smo želeli preveriti morebitni vpliv vadbe na zmožnosti vstajanja in hoje, kar smo v kliničnem delu začeli bolj redno ocenjevati v zadnjih letih.

METODE

Preiskovanci

V raziskavi smo retrospektivno iz dokumentacije zbrali rezultate meritev pasivne gibljivosti sklepov spodnjih udov pri skupini otrok in mladostnikov s CP (do starosti 18 let), ki so bili v trening avtomatizirane hoje na Lokomatu vključeni v obdobju od novembra 2011 do novembra 2021. Dodatno smo zbrali podatke o stopnji zmožnosti grobega gibanja (angl. Gross Motor Classification System, GMFCS) (24) in dosežkih pri testiranju zmožnosti vstajanja in hoje, kjer so bili na voljo.

Za vključitev otrok v program vadbe na Lokomatu smo upoštevali naslednja merila: težave pri hoji, zvišan mišični tonus, zmanjšana pasivna gibljivost vsaj v enem ali več sklepih spodnjih udov. V program nismo vključili otrok, ki so bili premajhni (prekratka stegenica, manj kot 21 cm), so imeli izrazito motnjo pozornosti, pomembno znižane zmožnosti razumevanja in sodelovanja v programu, fiksne kontrakturo več kot 20° v kolkah ali kolenih ali primarni fleksijski vzorec drže in gibanja (znižanje spastično

zvišanega tonusa pri treningu na Lokomatu lahko povzroči pomembno poslabšanje vzorca hoje).

Ocenjevalni instrumenti

Otrok je pred vključitvijo v program opravil pregled pri eni od oddelčnih zdravnic, specialistk fizikalne in rehabilitacijske medicine, ki je otroka z diagnozo cerebralna paraliza na osnovi sposobnosti gibanja razvrstila v eno od petih stopenj GMFCS. Pri vseh vključenih otrocih smo opravili meritve pasivne gibljivosti. Časovno merjene teste hoje smo izvedli pri otrocih, ki so jih zmogli opraviti.

Pri *meritvah obsega pasivne gibljivosti* v posameznih sklepih spodnjih udov smo upoštevali, da je to tisti obseg giba, ki ga izvede preiskovalec brez hotene mišične aktivnosti preiskovanca. Za meritve smo uporabili goniometer. Izmerili smo obseg fleksije in ekstenzije v kolku, fleksije in ekstenzije v kolenu, unilateralni in bilateralni poplitealni kot ter dorzalno fleksijo stopala pri pokrčenem in iztegnjenem kolenu. Unilateralni poplitealni kot v kolenu smo izmerili tako, da je bil pri merjeni nogi kolk pod kotom 90°, nasprotna noga pa 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 meritev iztegovali v kolenu, dokler nismo začutili povečanega upora oziroma t. i. konca giba.

S *Časovno merjenim testom vstani in pojdi* (angl. Timed Up and Go test, TUG) (25) ocenjujemo sposobnost spreminjanja položajev in sposobnost hoje. Test vsebuje pet aktivnosti: preiskovanec vstane s stola, prehodi razdaljo treh metrov, se obrne, vrne na izhodišče in ponovno sede (25, 26) ter tako združuje veliko elementov ravnotežja. Test so sprva uporabljali pri starejših, kasneje tudi pri otrocih (27), za katere so pripravili tudi normativne vrednosti (28). *Test hitrosti hoje na 10 metrov* (angl. 10-meters walk test, 10mWT) (29) sodi med teste za oceno sposobnosti hoje; z izračunom hitrosti hoje ocenimo funkcijo hoje. Pri 10mWT merimo čas (v sekundah), ki je potreben za hojo na razdalji 10 m, iz česar izračunamo hitrost hoje. Za merjenje časa uporabimo ročni kronometer. Preiskovanec prehodi naravnost 14 m, brez pomoči ali spremstva fizioterapevta. Meriti začnemo, ko preiskovanec prestopi oznako za 2 m, in prenehamo, ko prestopi oznako za 12 metrov (30). Z uporabo nekaj metrov daljše proge in merjenjem trajanja hoje čez osrednjih 10 m izključimo odzivni čas ter vpliv pospeševanja na začetku in zaviranja na koncu proge (31). Test je hiter, občutljiv na spremembe hoje in celostni kazalnik zmanjšane zmožnosti. Ker lahko s testom hoje na 10 m precenimo sposobnost za hojo na daljše razdalje, je za bolj celostno oceno treba oceniti tudi vzdržljivost pri hoji (30).

Za oceno vzdržljivosti smo uporabili *6-minutni test hoje* (angl. 6-minutes walk test, 6MWT) (32), ki smo ga izvajali na vsaj 30 m dolgem hodniku. Po standardnem postopku izmerimo razdaljo, ki jo preiskovanec prehodi v šestih minutah (32). Večina preiskovancev pri izvajanju testa ne doseže svoje največje telesne zmogljivosti (33), zato 6MWT velja za submaksimalni test.

Protokol dela

Otroci so bili po opravljenem pregledu, meritvah in testih vključeni v program vadbe na Lokomatu. Opravili naj bi od štiri do pet vadbenih enot na teden, v obdobju štirih tednov rehabilitacije. Glede na otrokove sposobnosti (utrujanje med treningom, sposobnost aktivne hoje na Lokomatu, sposobnost tekočega recipročnega gibanja, spastično zvišan tonus mišic) smo prilagodili dolžino posamičnega treninga (od 30 do 45 minut), hitrost hoje, prehojeno razdaljo in razbremenitev teže. Po zaključenem programu smo ponovili vse začetne meritve in teste.

Analiza podatkov

Za zbiranje in analizo podatkov ter pripravo grafičnih prikazov smo uporabili elektronsko preglednico Microsoft Excel 2019 (Microsoft Corp., Redmond, WA, ZDA, 2019) in statistični programski paket R studio (R version 4.1.2). Za obravnavane spremenljivke smo izračunali opisne statistike. Za grafični prikaz testov hoje smo izračunali relativno izboljšanje (absolutno izboljšanje, deljeno z rezultatom testiranja pred treningom). Za vrednotenje izboljšanja številskih spremenljivk smo uporabili neparametrični eksaktni Wilcoxonov test predznačenih rangov (EWTTPR). Pri izračunu deleža izboljšanja kontrakture smo število otrok, pri katerih je prišlo do izboljšanja, delili s številom otrok s kontrakturo pred treningom na Lokomatu. Mejo statistične značilnosti smo postavili pri $p = 0,05$.

Rezultati

V obdobju od novembra 2011 do novembra 2021 smo v trening avtomatizirane hoje na Lokomatu vključili 122 otrok s cerebralno paralizo (38 deklic in 85 dečkov), starih od šest do 13 let (povprečje 10,0 leta, standardni odklon 4,0). Razvrstili smo jih glede na funkcijo grobega gibanja (GMFCS) (Tabela 1). Nekaj manj kot polovica otrok je zmogla samostojno hojo brez pripomočkov, ostali pa le s pripomočkom (3. stopnja GMFCS) ali s pripomočkom ter dodatno podporo in vodenjem odrasle osebe (4. stopnja GMFCS). Skoraj dve tretjini otrok sta bili vključeni v bolnišnični program (4–5x/teden, štiri tedne), tretjina pa v ambulanto (2x/teden, osem tednov). V povprečju so opravili 15,6 vadbenih enot (najmanj 4, največ 20; SO 3,9). V analizi podatkov smo upoštevali vse otroke, ne glede na število opravljenih vadbenih enot.

Statistično značilno se je izboljšal pasivni obseg gibljivosti v kolenuh (poplitealni koti) in skočnih sklepkih (Tabela 2). Ob tem se je zmanjšalo tudi število otrok s kontrakturami v kolkih in kolenuh (Tabela 3), vendar zaradi nizkih frekvenc nismo mogli narediti hi-kvadrat testa za potrditev morebitnih statistično značilnih razlik.

Test vstani in pojdi (TUG) in test hoje na 10 metrov (10mWT) je lahko opravila tretjina otrok, 6-minutni test hoje (6MWT) pa le 28 otrok. Razvrstitev teh otrok v posamezno stopnjo GMFCS je predstavljena v Tabeli 4. Izboljšanje dosežkov po zaključeni vadbi na Lokomatu je bilo pri vseh treh testih statistično značilno (Tabela 5). Relativno izboljšanje dosežkov pri testih hoje po vadbi na Lokomatu je prikazano na Sliki 1. Zaradi majhnega števila

otrok, ki so lahko opravili ta del testiranja, izboljšanja dosežkov nismo mogli oceniti z analizo varianc. Relativno izboljšanje (absolutno izboljšanje, deljeno z rezultatom testiranja pred treningom; mediana, odebeljena črta na škatlastih diagramih) je bilo pri vseh treh testih večje pri otrocih v 1. in 3. stopnji GMFCS. Razpon relativnega izboljšanja je pri TUG največji pri otrocih v 2. stopnji GMFCS, pri 10mWT in 6MWT pa v 1. stopnji GMFCS (Slika 1).

Tabela 1: Razvrstitev otrok s cerebralno paralizo v stopnje glede na grobe gibalne zmožnosti.

Table 1: Distribution of children with cerebral palsy based on gross motor function level.

GMFCS stopnja/GMFCS level	Število (delež)/ Number (proportion)
I	22 (18,0 %)
II	35 (28,7 %)
III	27 (22,1 %)
IV	38 (31,1 %)

Legenda/Legend: GMFCS – Sistem za razvrščanje otrok s cerebralno paralizo glede na grobe zmožnosti gibanja/The Gross Motor Function Classification System

Tabela 2: Obseg pasivne gibljivosti v kolenu in gležnju pred vadbo na Lokomatu in po njej.

Table 2: Range of movement in knee and ankle before and after the Lokomat training.

Obseg pasivne gibljivosti/ Passive range of movement	Pred vadbo/ Before training	Po vadbi/ After training
PU levo/left	130 (120–140)	135 (125–145)*
PU desno/right	130 (120–142)	135 (125–145)*
PB levo/left	143 (135–155)	150 (140–160)*
PB desno/right	145 (135–155)	150 (140–160)*
DF s pokrčenim kolonom levo/ DF with flexed knee left	20 (15–25)	20 (20–30)*
DF s pokrčenim kolonom desno/ DF with flexed knee right	20 (10–25)	20 (20–30)*
DF s iztegnjenim kolonom levo/ DF with extended knee left	20 (10–25)	21 (20–30)*
DF s iztegnjenim kolonom desno/ DF with extended knee right	7,5 (5–15)	10 (6,3–18,8)*

Opomba/Note: vrednosti so mediane (interkvartilni razpon)/values are median (interquartile range IQR)

Opomba/Note: vrednost p^*/p^* value < 0,001

Legenda/Legend: PU – poplitearni kot unilaterarno/popliteal angle unilateral; PB – poplitearni kot bilaterarno/popliteal angle bilateral; DF – dorsalna fleksija stopala/dorsal flexion of foot

Tabela 3: Število in delež otrok s kontrakturami pred vadbo na Lokomatu in po njej.**Table 3:** Number and proportion of children with contractures before and after the Lokomat training.

GMFCS stopnja/ level		I	II	III	IV
Število/Number		20	16	18	23
Levi kolk/ Left hip	Pred vadbo/ Before training	6 (30 %)	9 (56 %)	16 (89 %)	17 (74 %)
	Po vadbi/ After training	2 (10 %)	4 (25 %)	11 (61 %)	13 (57 %)
	Izboljšanje/ Improvement	4 (67 %)	8 (89 %)	14 (88 %)	11 (65 %)
Desni kolk/ Right hip	Pred vadbo/ Before training	6 (30 %)	9 (56 %)	15 (83 %)	17 (74 %)
	Po vadbi/ After training	3 (15 %)	4 (25 %)	9 (50 %)	13 (57 %)
	Izboljšanje/ Improvement	6 (100 %)	8 (89 %)	13 (87 %)	8 (47 %)
Levo koleno/ Left knee	Pred vadbo/ Before training	6 (30 %)	4 (25 %)	5 (28 %)	15 (68 %)
	Po vadbi/ After training	6 (30 %)	4 (25 %)	5 (28 %)	15 (68 %)
	Izboljšanje/ Improvement	3 (50 %)	2 (50 %)	2 (40 %)	5 (33 %)
Desno koleno/ Right knee	Pred vadbo/ Before training	8 (40 %)	4 (25 %)	7 (39 %)	17 (74 %)
	Po vadbi/ After training	8 (40 %)	4 (25 %)	6 (33 %)	16 (70 %)
	Izboljšanje/ Improvement	4 (50 %)	2 (50 %)	4 (57 %)	10 (59 %)

Legenda/Legend: GMFCS – Sistem za razvrščanje otrok s cerebralno paralizo glede na zmožnosti grobega gibanja; Gross Motor Function Classification System

Tabela 4: Število otrok, ki so opravili teste hoje glede na stopnjo grobih zmožnosti gibanja.**Table 4:** Number of children tested with walk tests based on gross motor function level.

Test	GMFCS stopnja in število otrok / GMFCS level and number of children			
	I	II	III	IV
TUG	9	20	11	1
10mWT	9	20	11	1
6MWT	9	15	3	1

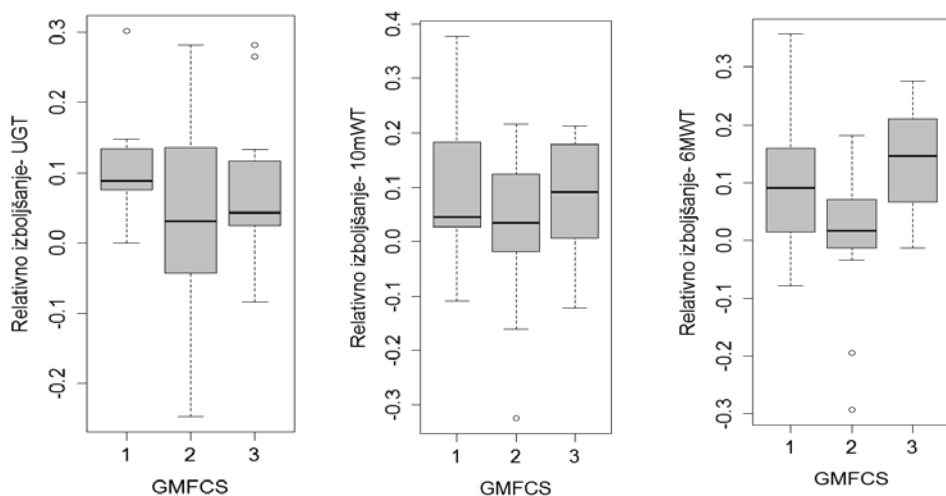
Legenda/Legend: GMFCS – Sistem za razvrščanje otrok s cerebralno paralizo glede na grobe zmožnosti gibanja/ The Gross Motor Function Classification System; TUG – Časovno merjeni test vstani in pojdi/Timed Up and Go test; 6MWT – 6 minutni test hoje/6-minutes walk test; 10mWT – Test hitrosti hoje na 10 metrov/10-meters walk test.

Tabela 5: Dosežki otrok pri testih hoje pred vadbo na Lokomatu in po njej.**Table 5:** Results of children at testing before and after the Lokomat training.

Test (N)	Pred vadbo/Before training	Po vadbi/ After training	Vrednost p*/p* value
TUG, sekunde/seconds (n=42)	7,8 (6,8–9,3)	7,0 (6,2–8,2)	<0,001
10mWT, sekunde/seconds (n=42)	7,5 (6,4–9,0)	7,2 (6,1–8,0)	<0,001
6MWT, metri/meters (n=28)	393,5 (348,3–422,5)	403,5 (363,0–450,0)	0,018

Opomba/Note: vrednosti so mediane (interkvartilni razpon)/values are median (interquartile range IQR); *eksaktni Wilcoxonov test predznačenih rangov/Wilcoxon signed-rank test or paired t test.

Legenda/Legend: TUG – Časovno merjeni test vstani in pojdi/Timed Up and Go test; 6MWT – 6-minutni test hoje/6-minutes walk test; 10mWT – Test hitrosti hoje na 10 metrov/10-meters walk test

**Slika 1:** Relativno izboljšanje dosežkov pri testih hoje po vadbi na Lokomatu.**Figure 1:** Relative improvement of results at testing after the Lokomat training.

Razprava

Z analizo večjega vzorca otrok s CP smo želeli izvedeti, ali lahko z vadbo na Lokomatu pri njih izboljšamo obseg gibljivosti sklepov spodnjih udov. Poleg tega smo želeli preveriti, ali se izboljša njihova zmožnost vstajanja in hoje.

V vadbo na Lokomatu v redni klinični praksi vključujemo otroke s CP, ki imajo spremenjen vzorec hoje, ne glede na to, ali za hojo potrebujejo pripomočke ali zmorejo samostojno hojo. Glede na to je bila tudi porazdelitev otrok v posamezne stopnje GMFCS kar enakomerna (od 18 do 31 %). Otroke s CP podobnih zmožnosti grobega gibanja so v raziskave vključevali tudi drugi avtorji (16, 18).

Pri otrocih s CP se pogosto razvijejo kontrakture v sklepih spodnjih udov (33). Otroci v 1. in 2. stopnji GMFCS imajo običajno kontrakture v skočnih sklepih, otroci v 3. in 4. stopnji GMFCS pogosteje tudi kontrakture v kolkih in kolenih (34). Skladni s tem so podatki v našo raziskavo vključenih otrok: 39 % jih je imelo kontrakture v kolkih, 29,5 % kontrakture v kolenih (Tabela 3). Izboljšanje teh kontraktur bi bilo zelo verjetno statistično značilno, vendar tega nismo mogli potrditi. Ob zaključku vadbe je bilo vendarle precej otrok, ki kontraktur niso imeli več. Do izboljšanja je prišlo pri otrocih v vseh stopnjah GMFCS, trend

izboljšanja po stopnjah pa ni povsem jasen. V kolkih je bil delež izboljšanja višji v 2. in 3. stopnji GMFCS, sledili so otroci v 1. stopnji, nato pa otroci v 4. stopnji GMFCS. Nizko število otrok v 1. stopnji GMFCS je sicer skladno s tem, da ti otroci redkeje razvijejo kontrakture v kolkih (30 % vseh vključenih v primerjavi z višjimi deleži otrok v ostalih stopnjah), je pa delež izboljšanj zato manj zanesljiv za primerjavo glede na deleže otrok v ostalih stopnjah GMFCS.

Delež otrok s kontrakturami v kolenih je bil visok predvsem v 4. stopnji GMFCS (Tabela 3), kar je pričakovano glede na njihove zmožnosti gibanja. Otroci v tej stopnji ne zmorejo samostojne stoji, stopajo pa lahko le z uporabo pripomočkov ter ob pomoči in vodenju druge osebe. To pomeni, da so preko dneva večinoma v sedečem položaju, ki jim ne omogoča zadostnega raztezanja fleksorjev kolen. V obdobju otrokove hitreje rasti med 10. in 12. letom (kar sovпада s povprečno starostjo vključenih otrok) se pri otrocih s CP zaradi že omenjenih dejavnikov (12, 13) kontrakture razvijejo še hitreje in pogosteje. Podatkov o tem, koliko je meja za klinično pomembno izboljšanje obsega gibljivosti v posameznih sklepih spodnjih udov pri otrocih s CP, nismo našli, je pa vendarle znano, da prisotnost teh kontraktur pomembno vpliva na zmožnost hoje (35).

Obseg poplitealnih kotov je pomemben dejavnik, ki omogoča dovolj poravnan položaj kolen pri dostopu in v fazi opore. Pri otrocih s CP nas skrbi predvsem poslabšanje vzorca hoje do te mere, da nastane t. i. pokrčeni vzorec (*angl.* crouch gait), kar vodi v nenormalne mehanske obremenitve v kolenu, kolčnih in gleženjskih sklepkih, to pa v nastanek bolečine v sklepkih, obrabo sklepov in deformacije kosti (36). Vadba na Lokomatu je pri vključenih otrocih s CP pomembno izboljšala obseg poplitealnih kotov (Tabela 2), vendar velja opozoriti, da so že izhodiščne vrednosti v povprečju nižje kot v populaciji otrok s CP, ki jo redno spremljajo na Švedskem (37). Fosdahlova in sodelavci so namreč poročali o krivuljah spreminjanja poplitealnega kota pri 419 otrocih s CP v 1. do 3. stopnji GMFCS (37). Povprečni poplitealni kot pri osemletnih otrocih v 3. stopnji je znašal 139° (95-odstotni interval zaupanja 141° – 137°), kar po švedskih smernicah pomeni, da je že potrebno bolj pogosto spremljanje otrok in po potrebi tudi ukrepanje (37). Povprečje obsega poplitealnega kota je pri otrocih v 2. in 1. stopnji GMFCS za 5° višje (37). V Tabeli 2 so navedene povprečne vrednosti za vse otroke, torej tudi tiste v 4. stopnji GMFCS, kar gotovo vpliva na nižje povprečne vrednosti obsega poplitealnega kota pri otrocih v naši raziskavi. Krivulje vrednosti poplitealnega kota se s starostjo po 12. letu postopno izravnajo, do 14. leta razlike med skupinami izzvenijo in poplitealni koti znašajo okrog 130° (37). Avtorji menijo, da so tako izravnane krivulje v tej starosti posledica postopnega zmanjševanja spastičnosti po šestem letu starosti, kar naj bi zmanjševalo tveganje za razvoj kontraktur (38). Trend ustavljanja poslabševanja je tako počasen, da to ne more biti vzrok za izboljšanje povprečnih poplitealnih kotov po opravljeni vadbi na Lokomatu.

Testov hoje v rutinskem kliničnem delu sicer nismo opravili pri vseh otrocih (Tabela 4), ki so bili vključeni v vadbo na Lokomatu. Bolj sistematično smo jih začeli izvajati šele v zadnjih letih. Zanimivo je, da je bilo relativno izboljšanje pri vseh treh testih večje pri otrocih v 1. in 3. stopnji GMFCS (Slika 1). Tega trenda ne znamo pojasniti, saj bi za bolj zanesljive zaključke potrebovali večji vzorec otrok z opravljenimi testi hoje.

Dosežek pri Časovno merjenem testu vstani in pojdi (TUG) se je po vadbi na Lokomatu v povprečju izboljšal za 0,8 sekunde. Itzkowitzeva in sodelavci so testirali 1481 zdravih otrok in pripravili normativne vrednosti za TUG (28). Ker normativnih vrednosti za otroke s CP v dostopni literaturi nismo našli, si vsaj v grobem morda lahko pomagamo s slednjimi. Otroci so bili stari od pet do 13 let; v povprečju so dečki TUG izvedli v $6,46 \pm 1,16$ sekunde, deklice pa v $6,68 \pm 1,07$ sekunde. Glede na povprečno starost otrok v našem vzorcu 10,0 leta (SO 4.0) so otroci s CP, ki so lahko hodili, test opravili statistično pomembno počasneje (Tabela 5).

Hassanijeva s sodelavci je s TUG testirala skupino 166 otrok s CP, s povprečno starostjo 12 let in 11 mesecev (SO 2 leti 7 mesecev) (40). Otroci v 1. stopnji GMFCS so dosegli povprečni čas 7,4 sekunde (SO 1,5), otroci v 2. stopnji 8,9 sekunde (SO 8,9), otroci v 3. stopnji pa 23,2 sekunde (SO 14,3). Izračunali so tudi minimalno klinično pomembno razliko (MCID), ki je za posamezno stopnjo (po vrsti podatki za srednji in veliki učinek): 1,1/1,7; 0,7/1,2; 1,2/1,9. Glede na te vrednosti in ob upoštevanju, da so bili v naš

vzorec vključeni tudi otroci v 4. stopnji GMFCS, menimo, da je imela vadba na Lokomatu tudi velik klinično pomemben učinek.

Statistično značilno izboljšanje so otroci po vadbi na Lokomatu dosegli tudi pri hoji na 10 metrov; čas se je v povprečju skrajšal za 0,3 sekunde. Thompsonova s sodelavci (41) je pred časom ovrednotila zanesljivost med ocenjevanji z 10mWT. Vključili so 31 otrok s CP v 1. do 3. stopnji GMFCS, ki so v povprečju dosegli čas (po stopnjah): 5,9 s (SO 1,0); 9,6 s (SO 2,8); 16,0 s (SO 13,7). Ob ponovnem testiranju se je pokazalo, da je zanesljivost testa slabša (ICC=0,81), vendar pri testiranju niso predvideli začetne razdalje dveh metrov, da bi preiskovanci lahko dosegli stabilno hitrost. To bi lahko pri otrocih s spastično obliko CP predstavljalo vir večje variabilnosti rezultatov, kar je morda vzrok za to, da je bila povprečna hitrost otrok v naši raziskavi kar visoka, nekje med povprečji za 1. in 2. stopnjo skupine otrok s CP v raziskavi Thompsonove s sodelavci (41). Podobno je Druzbecki s sodelavci poročal o rezultatih kontrolirane randomizirane raziskave o učinkovitosti vadbe na Lokomatu, v kombinaciji s fizioterapijo ali brez nje, pri 52 otrocih s CP (17). Otroci, ki so bili vključeni v obe obliki vadbe, so ob zaključku raziskave dosegli večjo hitrost hoje, vendar razlike niso bile statistično značilne. Pri obeh skupinah se je izboljšal tudi obseg pasivnih gibov v sklepkih spodnjih udov, vendar razlike med skupinama niso bile statistično značilne (17).

V raziskavi Thompsonove so preverili tudi zanesljivost testiranja s 6MWT, ki se je izkazala za odlično, z MCID 61,9 m; 64,0 m in 47,4 m za 1. do 3. stopnjo GMFCS (41). V povprečju otroci v naši raziskavi niso dosegli meje za MCID, čeprav je bila razlika v dosežkih statistično značilna. Na te rezultate bi lahko vplivali morebitni slabši zaključni dosežki otrok, ki so bili v program vadbe vključeni ambulantno in so imeli nižjo intenzivnost vadbe (2x/teden, osem tednov), oz. dosežki otrok, ki so opravili le nekaj vadbenih enot (od štiri do devet). Te povezanosti v tokratni analizi nismo ocenjevali, prav tako nismo izključili otrok, ki so imeli manj ur vadbe. Druga verjetna razlaga za te dosežke je tudi ta, da bolnišnični režim vadbe (4–5x/teden, štiri tedne) ni dovolj, da bi se pri otrocih vzdržljivost pomembno izboljšala. V prid temu govorijo tudi rezultati Žen Jurančičeve s sodelavci, ki je z obremenilnim testiranjem otrok s CP pred vadbo na Lokomatu in po njej ugotovila le trend izboljšanja telesne pripravljenosti, ki pa ni bil statistično značilen (42).

Med slabosti raziskave gotovo štejejo pomanjkljivi podatki, predvsem pri testih hoje. Ta del testiranja pred časom ni bil del rutinskega kliničnega dela. Več testiranih otrok bi gotovo prispevalo k zanesljivosti podatkov o napredku otrok pri vadbi na Lokomatu. Manjkajo tudi podatki o testiranju grobih zmožnosti gibanja (Gross Motor Function Measure, GMFM) (21), ki ga uporabljajo v večini raziskav v tujini (16, 18, 20). To testiranje je sicer precej zamudno, traja namreč vsaj 45 minut, pri otrocih, ki imajo več težav pri gibanju in pridružene nižje kognitivne sposobnosti, pa še dlje, če ga sploh zmorejo opraviti. Slabost je tudi odsotnost kontrolne skupine, ki je zaradi retrospektivne analize nismo imeli. Dodatno pomembnost ugotovljenih rezultatov lahko zmanjša dejstvo, da je imelo nekaj otrok ob vadbi na Lokomatu, predvsem v zadnjih

letih, tudi program fizioterapije, zato učinkov ene in druge vadbe ne moremo ločiti.

ZAKLJUČEK

Obsegi pasivnih gibov v vseh sklepah spodnjih udov pri otrocih s cerebralno paralizo, ki so opravili štiritedenski program vadbe na Lokomatu®, so se statistično pomembno izboljšali. Izboljšali so se tudi dosežki pri testih hoje. V prihodnosti bi bilo treba analizirati tudi morebitno razliko v dosežkih glede na intenzivnost vadbe, pa tudi učinek večkrat ponovljene vadbe v daljšem časovnem obdobju.

Literatura:

- Carr LJ, Reddy SK, Stevens S, Blair E, Love S. Definition and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neur.* 2005;47(8):508–10.
- Nyström Eek M, Beckung E. Walking ability is related to muscle strength in children with cerebral palsy. *Gait Posture.* 2008;28(3):366–71.
- Wiley ME, Damiano DL. Lower-extremity strength profiles in spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neur.* 1998;40:100–7.
- 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(4):309–24.
- 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(4):579–84.
- 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(3):66–71.
- 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.
- Mathewson MA, Lieber RL. Pathophysiology of muscle contractures in cerebral palsy. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2015;26(1):57–67.
- 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(10):2625–39.
- A world leader of advanced technologies for movement rehabilitation. Hocoma. Dostopno na: <http://hocoma.com/> (citirano 10. 1. 2022).
- Borggraefe I, Klaiber M, Schuler T, Warken B, Schroeder SA, Heinen F, et al. Safety of robotic-assisted treadmill therapy in children and adolescents with gait impairment: a bi-centre survey. *Dev Neurorehabil.* 2010;13(2):114–9.
- Borggraefe I, Schaefer JS, Klaiber M, Dabrowski E, Ammann-Reiffner C, Knecht B, et al. A robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol.* 2010;14(6):496–502.
- Druzicki M, Rusek W, Snela S, Dudek J, Szczepanik M, Zak E, et al. Functional effects of robotic-assisted locomotor treadmill therapy in children with cerebral palsy. *J Rehabil Med.* 2013;45(4):358–63.
- Klobucká S, Klobucký R, Kollár B. Effect of robot-assisted gait training on motor functions in adolescent and young adult patients with bilateral spastic cerebral palsy: a randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation.* 2020;47(4):495–508.
- Van Hedel HJ, Meyer-Heim A, Rüscher-Bohtz C. Robot-assisted gait training might be beneficial for more severely affected children with cerebral palsy. *Dev Neurorehabil.* 2016;19(6):410–5.
- Wallard L, Dietrich G, Kerlirzin Y, Bredin J. Robotic-assisted gait training improves walking abilities in diplegic children with cerebral palsy. *Eur J Paediatr Neurol.* 2017;21(3):557–64.
- Russell DJ, Rosenbaum PL, Avery LM, Lane M. *Gross Motor Function Measure (GMFM-66 & GMFM-88) Users Manual.* London: Mac Keith; 2002.
- Žarković D, Sorfova M, Tufano JJ, Kutilek P, Viteckova S, Groleger-Sršen K, et al. Effect of robot-assisted gait training on selective voluntary motor control in ambulatory children with cerebral palsy. *Indian Pediatr.* 2020;57(10):964–6.
- Vrečar I, Majdič N, Jemec Štukl I, Damjan H, Groleger Sršen K. Spremembe pasivne gibljivosti sklepov spodnjih udov pri otrocih s cerebralno paralizo po intenzivni vadbi na Lokomatu. *Rehabilitacija.* 2013;12(3):38–45.
- Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, Russell D, Wood E, Galuppi B. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neur.* 1997;39:214–23.
- Mathias S, Noyak USL, Isaacs B. Balance in elderly patients: the »Get Up and Go« test. *Arch Phys Med Rehabil.* 1986;67:387–9.
- Podsiadlo D, Richardson S. The timed »Up & Go«: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatrics Soc.* 1991;39:142–8.
- Verbecque E, Schepens K, Theré J, Schepens B, Klingels K, Halleman A. The Timed Up and Go test in children: does protocol choice matter? A systematic review. *Pediatr Phys Ther.* 2019;31(1):22–31.
- Itzkowitz A, Kaplan S, Doyle M, Weingarten G, Lieberstein M, Covino F, et al. Timed Up and Go. Reference data for children who are school age. *Pediatr Phys Ther.* 2016;28(2):239–46.
- Sullivan JE, Crowner BE, Kluding PM, Nichols DKR, Rose DK, Yoshida R, et al. Outcome measures for individuals with stroke: process and recommendations from the American Physical Therapy Association neurology section task force. *Phys Ther.* 2013;93(10):1383–96.
- Puh U. Test hoje na 10 metrov. *Fizioterapija.* 2014;22(1):45–54.
- Bohannon RW, Williams A. Normal walking speed: a descriptive meta-analysis. *Physiotherapy.* 2011;97:182–9.
- Guyatt GH, Sullivan MJ, Thompson PJ, Fallen EL, Pugsley SO, Taylor DW, et al. The six minute walk: a new measure of exercise capacity in patients with chronic heart failure. *Can Med Assoc J.* 1985;132(8):919–23.

33. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166(1):111–7.
34. Østensjø 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;46:580–9.
35. Holmes SJ, Mudge AJ, Wojciechowski EA, Axt MW, Burns J. Impact of multilevel joint contractures of the hips, knees and ankles on the Gait Profile score in children with cerebral palsy. *Clin Biomech.* 2018;59:8–14.
36. Opheim A, Jahnsen R, Olsson E, Stanghelle JK. Walking function, pain, and fatigue in adults with cerebral palsy: a 7-year follow-up study. *Dev Med Child Neurol.* 2009;51(5):381–8.
37. Fosdahl MA, Jahnsen R, Pripp AH, Holm I. Change in popliteal angle and hamstrings spasticity during childhood in ambulant children with spastic bilateral cerebral palsy. A register-based cohort study. *BMC Pediatr.* 2020;20(1):11.
38. Hagglund G, Wagner P. Spasticity of the gastrosoleus muscle is related to the development of reduced passive dorsiflexion of the ankle in children with cerebral palsy: a registry analysis of 2,796 examinations in 355 children. *Acta Orthop.* 2011;82(6):744–8.
39. Linden O, Hagglund G, Rodby-Bousquet E, Wagner P. The development of spasticity with age in 4,162 children with cerebral palsy: a register-based prospective cohort study. *Acta Orthop.* 2019:1–10.
40. Hassani S, Krzak JJ, Johnson B, Flanagan A, Gorton G 3rd, Bagley A, et al. One-Minute Walk and modified Timed Up and Go tests in children with cerebral palsy: performance and minimum clinically important differences. *Dev Med Child Neurol.* 2014;56(5):482–9.
41. Thompson P, Beath T, Bell J, Jacobson G, Phair T, Salbach NM, et al. Test-retest reliability of the 10-metre fast walk test and 6-minute walk test in ambulatory school-aged children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2008;50(5):370–6.
42. Žen Jurančič M, Damjan H, Vrečar I, Jemec Štukl, I, Vipavec B, Pibernik M, et al. Učinek vadbe hoje na robotski napravi Lokomat na telesno zmogljivost pri otrocih in mladostnikih s cerebralno paralizo. *Rehabilitacija.* 2019;18(2):26–32.