УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ФАКУЛТЕТ ЗА СПЕЦИЈАЛНУ ЕДУКАЦИЈУ И РЕХАБИЛИТАЦИЈУ

Драгана Д. Ђурић

РОБОТСКИ ПОТПОМОГНУТИ ТРЕНИНГ ХОДА КОД ДЕЦЕ СА ЦЕРЕБРАЛНОМ ПАРАЛИЗОМ

Пројекат докторске дисертације

Београд 2020

САДРЖАЈ

УВОД 3

1. ТЕОРИСКИ ПРИСТУП ПРОБЛЕМУ ИСТАРЖИВАЊА

1.1. Теоријска разматрања основних појмова.....5

1.1.1. Церебрална парализа.....5

1.1.2. Роботски потпомогнути тренинг хода- Локомат.....11

1.1.3. Пластицитет мозга 18

1.1.4. Ход.....19

1.1.5. Концепт моторне процене према Међународној класификацији функционисања, неспособности и здравља 22

1.2 Предходна истраживања.....26

1.2.1. Предходна истраживања роботски потпомогнутог тренинга хода..26

1.2.2. Предходна истраживања традиционог ренинга.....30

2. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

2.1. Проблем и предмет истраживања.....33

2.2. Циљ истраживања.....33

2.3. Задаци истраживања.....33

2.4. Хипотезе истраживања.....34

2.5. Варијабле истраживања.....34

2.6. План и организација истраживања.....35

2.6.1 Место и време истраживања 36

2.6.2 Критеријуми укључивања и искључивања из студије 36

2.6.3 Дизајн истраживања.....39

2.6.4 Опис узорка 39

2.6.5 Етичка разматрања 40

2.7. Инструменти процене и начин прикупљања података.....41

2.8. Процедура.....47

2.9. Статистичке мере.....49

2.10. Очекивани резултати.....49

2.11. Научни допринос.....49

ЛИТЕРАТУРА.....51 - 62

УВОД

Када говоримо о неурорехабилитацији одраслих и деце, последњих деценија истраживачи се превасходно фокусирају на креирање уређаја заснованих на високо развијеној технологији како би их што ефикасније применили у рехабилитацији пацијената. Интезивни развој софтверских програма, развој роботских уређаја и констатно усавршавање њихових техничких карактеристика резултирају појављивањем различитих типова робота у неурорехабилитацијској примени на светском тржишту. Роботски потпомогнути уређаји су у својим карактеристикама специјално дизајнирани на начин да њиховом применом потпомогну остварење веће функционалности горњих или доњих екстремитета. Данас је роботска рехабилитација у рехабилитационим центрима високо развијених земаља заузела важно место и примењује се заједно са другим традиционалним терапијским интервенцијама. Највећа примена роботске рехабилитације за доње екстремитете (ДЕ) је у успостављању функције хода код пацијената са трауматским повредама главе, спиналним лезијама, последицама можданог удара, Паркинсоновом болешћу, мултиплом склерозом и церебралном парализом (ЦП) (Calabro 2016). Употреба робота у рехабилитацији педијатријске популације у свету започела је 2006. године (Druzbicki, 2013).

Церебрална парализа (ЦП) је најчешћи неуроразвојни поремећај код деце која узрокује комплексне тешкоће у области физичког, психолошког и социјалног функционисања. Најпрепознатљивија тешкоћа код деце са ЦП је проблем кретања. Немогућност хода утиче на свакодневне активности детета, на активности самозбрињавања попут облачења, тоалета и одражава се на социјални живот те деце ограничавајући им игру и интеракцију са вршњацима. Проблем кретања одражава се на квалитет живота детета и његове породице.

Конвенционална рехабилитација деце са ЦП је временски дуготрајни и скуп процес који укључује родитеље и тим стручњака у циљу постизања максимално могуће функционалне независности. Могућност стајања и хода код ЦП деце је дугорочан циљ за чије остварење су потребне године третмана.

Рано откривање церебрално ризичне одојчади намеће интизивне терапије у првим годинама живота у циљу развијања моторне контроле главе, трупа, карлице и доњих екстремитета, јачања мишићне снаге, повећања обима покрета, смањења мишићног тонуса, побољшања статичног и динамичног баланса. Стандардни третмани захтевају поред напора детета са ЦП, родитељски али и ментални и физички напор терапеута јер се ради о многобројним понављањима покрета током вишегодишње рехабилитације а који су основ за развијање неурофизилошке зрелости мозга и напредак детета. Роботска рехабилитација не може заменити традиционални приступ, али може олакшати и допунити традиционални тренинг хода. Сврха роботски потпомогнутог тренинга хода је у поправљању функције хода код деце са ЦП (Smania, 2011). Специфичности роботски потпомогнутог хода код пацијената са ЦП су:

1. Према моторичким и когнитивним могућностима пацијента роботски потпомогнути тренинг има индивидуалне циљеве и индивидуалну прилагодљивост. Тренинг хода пацијената који немају могућност самосталног стајања и ходања може се контролисати подршком робота од максималних 100 % при чему се ДЕ покрећу спољном силом, истог интезитета и брзине кретања. Могућност мењања компијутерских параметара може омогућити парцијални ослонац пацијента и активацију мишићне контракције преко повећања оптерећења ДЕ којим се отежава ход код пацијената са блажом формом ЦП.
2. Повезаност тренинга хода и виртуалне реалности (итерактивне видео игрице). Брзина хода на екрану се представља у виду скора видео игрица и током третмана фидбек који добија на екрану, повећава дечје активно учешће преко стимулативне повратне спреге и пружа констатни изазов пацијенту. Итерактивне видео игрице такође пружају висок степен задовољста и уживања деци са ЦП. Истраживачки је потврђено да видео игрице повећавају мотивисаност пацијента а самим тим и ефикасност терапије (Костић, 2014). Предност роботски потпомогнутог тренинга хода је у чињеници да омогућава моторно учење које је резултат интезивних понављајућих функционалних покрета хода које резултује већом пређеном дистанцом, брзином хода уз већи или мањи напор пацијента (Winchester, 2006).

Највећи изазов у примени ове терапије у рехабилитационим центрима широм света је висока цена робота.

Велики број студија у свету је недосмислено потврдио важност активног учешћа пацијента, важност функционалног покрета, важност мотивације за ефикасност процеса неуролошке рехабилитације. За велики број пацијената употреба роботски потпомугнутог тренинга хода може објединити све поменуте чиниоце од активног учешћа пацијента преко функционалних покрета и мотивације а у циљу побољшања функције доњих екстремитета. Са друге стране ход уз помоћ робота омогућава пасивни ход деци са тежом формом ЦП која немају развијену самосталну функцију стајања и могућност самосталног искорака. Могућност адаптације роботски потпомогнутог тренинга хода према индивидуалним могућностима детета нас је инспирисала за ово истраживање јер је функција кретања примарна функција која тежи да се успостави и одржи у дугогодишњем процесу рехабилитације деце и одралих са ЦП.

1. ТЕОРИЈСКИ ПРИСТУП ПРОБЛЕМУ ИСТРАЖИВАЊА

1.1. Теоријска разматрања основних појмова

За разумевање роботски потпомогнутог тренинга хода за децу са ЦП потребно је размотрити основне појмове истраживачког и теоријског концепта овог пројекта. Кроз теоријски оквир а на основу релеватне литературе приближићемо следеће концепте: церебрална парализа, специфичности хода код деце са спастичном формом ЦП, упознати карактеристике Локомата и могућности које пружа у тренингу хода и научну заснованост важности пластицитета мозга.

1.1.1 Церебрална парализа

Дефиниција

Церебрална парализа (ЦП) најчешћи је неуроразвојни поремећај код деце и водећи је узрок физичке онеспособљености у свету (Hirtz et al., 2007; Koman, 2004). ЦП доживотно је стање које захтева здравствене, образовне и социјалне услуге (Krageloh-Mann, 2009). ЦП подразумева лепезу поремећаја моторике и постуре која су резултат непрогресивне лезије мозга у развоју (Hoon & Tolley,

2013; Koman, 2004). Постоје многобројне дефиниције церебралне парализе, данас се ЦП описује као "*група трајних поремећаја развоја покрета и постуре, која узрокује ограничење у извођењу активности и настаје као последица непрогресивних поремећаја незрелог мозга или мозга у раној фази развоја*" (Rosenbaum at al., 2007). "*Моторички проблеми су често удружени са са поремећајима сензорике, когниције, комуникације, перцепције, са епилепсијом и појавом секундарних мишићно скелетних поремећаја"* (Rosenbaum at al., 2007, Novak at al., 2012, Oskoui at al., 2013). Дистрибуција поменутих поремећаја по Камбелу је следећа: Количник интелигенције мањи од 70 је присутан код 23% до 44% деце, поремећаји понашања код 25%, проблеми вида код 62% до 71% деце. Проблеме говора има 42% до 81% деце, проблеме слуха 25%. док су напади епилепсије забележени код 22 до 40% деце са ЦП. Сензорни проблеми се јављају од 44% до 51%, док су визуелни перцептивни проблеми у распону од 60 до 90% (Campbell, 2017). Секундарни мускулоскелетни поремећаји подразумевају контрактуре у зглобовима, торзију костију, сублукасције, дислокације кука и деформитете кичменог стуба (Gajdosik, 2002), који се најчешће испољавају у периоду пубертета и адолесценције.

Поменута дефиниција указује на мултидимензионе проблеме и оштећења, који се одражају на смањену активност и фунционалност пацијента. У функционалном смислу постоји широка лепеза стања од оних високо функционалних са малим бројем придружених сметњи до оних са израженим манифестацијама моторичких и других поремећаја. Клиничко искуство и праћење ове деце показују да иако имају исту дијагнозу, деца са ЦП се међусобно јако разликују у погледу њихових функционалних могућности. Нека деца се могу без проблема интегрисати у вртиће или школе, а друга имају великих потешкоћа у обављању активности свакодневног живота и интеграцији у здравствени и образовни систем.

Преваленца

У систематском прегледу и мета-анализи *Нове информације о преваленци церебралне парализе* (An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis) која је обухватила 49 студија је показала преваленцу од

2,1 на 1000 живорођене деце (Oskoui, 2013). Преваленца се констатно креће од 2-2,5 на 1000 живорођене деце (1 на сваких 400) задњих 20 година у западном свету (Levitt, 2019). Учесталост ЦП у Србији је између 1 и 2,5%, укупан број особа са ЦП прелази 10.000 док их у Београду има око 2.000 (Радовановић, 2000). ЦП се сматра најчешћим неуроразвојним поремећајем (Oskoui, 2013).

Сматра се да је око 50–60% деце са ЦП рођено у термину (Mclntyre, 2013). Прематуритет је један од значајнијих ризико фактора за развој ЦП (Rais-Bahrami & Short, 2013). Код превремене рођене деце са изузетно малом телесном масом на рођењу до 1250 гр и гестацијском старости испод 32 недеље, постоје јаки докази да су интравенттрикуларна хеморагија нивоа 3 и 4 самостално или у комбинацији са перивентрикуларном леукомалацијом прогностички фактори за настанк ЦП. Исти систематски преглед, *Прогностички фактори за церебралну парализу и моторичка оштећења код превремено рођене деце рођене веома рано или са веома ниском телесном масом на рођењу* (Prognostic factors for cerebral palsy and motor impairment in children born very preterm or very low birth weight: A systematic review), износи доказе да је употреба постнаталних кортикостероида за превенцију и третман бронхопулмоналне диспазије превремено рођене деце и неупотреба антенаталних кортикостероида код трудница у ризику од превременог порођаја представљају прогностичке факторе за настанак ЦП (Linsell at al., 2016).

Етиологија

Постоје многобројни узроци ЦП који се могу разматрати као пренатални, перинатални и постанални. Најчешћи узрок је пренаталне природе у 80% случајева, 10% припада постналним узроцима попут можданог инсулта и менингитиса док 10% новорођенчади има хипоксију мозга током порођаја. (Wimalasundera & Stevenson, 2016).

Некада се сматрало да је главни узрок ЦП хипоксија током порођаја, међутим нови докази показују да се већина лезија ЦНС дешава у другој половини трудноће током интезивног развоја мозга (Hadders-Alga, 2014). Напредак биомедицинског инжињеринга у дијагностичке сврхе доноси нам нова сазнања. Захваљујући магнетној резонанци бележе се лезије мозга и тако откривају узроци

патофизиолошких промена код беба у ризику развоја или код деце са ЦП. Дијагностичка употреба магнетне резонанце за процену мозга фетуса потврђује абнормалности мозга. Постоји генетска предиспозиција за настанак ЦП али су потребна нова генетска истраживања која би потврдила везу генетике и међудејства пренаталних фактора ризика (MacLennan, 2015).

Клиничка слика

Деца са ЦП су класификована према типу моторичког поремећаја на спастичну, дискинетичку, атаксичну и мешовиту форму (Sanger, 2006). Према топографској локацији класификација ЦП има унилатералну или билатералну форму. Можемо говорити о спастичној форми ЦП са унилатералном манифестацијом када имамо хемиплегични облик или билатералној када је пацијент дијагностикован као спастична диплегија или квадриплегија. Спастична форма је најчешћи облик. Дискинетична форма се класификује као хореатетоза или дистонија (Himmelmann, Panteliadis, 2018, Hoon & Tolley, 2013).

Од 1998. год. у Европи је формирана мрежа регистра ЦП под називом *Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE).* Према SCPE бази података, 88% особа има спастични облик од којих 58% има билатерални и 30% унилатерални облик. Дискинетички тип има 7% особа, 4% атаксични, док 1% није могуће класификовати нити у један од подтипова (Katušić, 2012).

Аустралијска студија је повезала топографску дистрибуцију са функционалним могућностима кретања и истиче да 39% има хемиплегичан облик при чему 99% пацијената самостално хода или хода уз помоћ помагала, диплегичну форму има 98% пацијената који су самостални у ходу или ходају уз помоћ помагала и 2% користе колица; 23% пацијената са квадиплегичном формом су самостални у ходу насупрот преосталих 77% који користе колица (Novak, 2014).

Дијагноза

Постављању дијагнозе ЦП предходни тимски дијагносттички приступ и нема консензуса о томе до ког узраста се поставља дијагноза, мада је већина аутора сагласна да је то узраст од 2 до 3 год. (Resenbaum, 2007). Савремена технологија и нови поуздани тестови данас омогућавају да се дијагноза ЦП посебно код тежих и

средњих форми може поставити до 6 месеца (Samson, 2002). Осим технолошке дијагностике попут прегледа ендокранијума ултразвуком, компијутеризованом томографијом, нуклеарном магнетном резонанцом, клинички налаз је златни стандард. *Квалитативна анализа спонтане моторичке активности- Прехтлова метода* (Prechtl's Assessment of General Movement*)* у првим месецима живота је најбољи инструмент процене за предвиђање ЦП, *Алберта- скала моторичког развоја беба* (Alberta Infant Motor Scale) и *Процена неуро- сензомоторног развоја* (Neuro Sensory Motor Development Asssessment, NSMSA) имају најбољу предикцију када су деца старија (Spittle, 2008).

Прогноза хода

Прогноза грубих моторичких функција је прво питање које занима родитеље: "Да ли ће моје дете самостално ходати?" Прогноза хода зависи од форме ЦП, деца са хемиплегичном и атаксичном формом ће највероватније ходати, док су мање шансе за децу са дискинетичном и билатералном формом (Campbell, 2017). Когнитивне функције, визуалне, аудитивне сметње, епилепсија представљају факторе који утичу на успостављање функције хода код свих форми ЦП (Beckung, 2008).Уколико се самостално седење не постигне до 3 год. живота, минималне су шансе за самосталним ходом (Campbell, 2017).

Процена могућности кретања детета са ЦП у датом тренутку се лако може извршити користећи нивое класификационог система за грубу моторичку функцију. *Класификациони систем грубих моторичких функција за церебралну парализу – Проширена и измењена верзија* (Gross Motor Function Classification System – Expanded and Revised, GMFCS–E&R, Palisano at al.1997, 2008) је класификациони систем који описује ниво мобилности и способност за ход детета и адолесцената са ЦП. Овај класификациони систем се користи у свакодневној клиничкој пракси и истраживачким студијама. Ниво 1 означава најбољу функционалност а ниво 5 најнижу и означава децу са највећим рестрикцијама. За GMFCS постоје детаљни описи и уз помоћ упутства стручњаци а и родитељи могу лако и брзо оценити ниво фунционалности детета. Процењује се дететово уобичајено функционисање у дневним активностима код куће, у школи или заједници. Постоји у верзији за децу узраста до 2 год, 2–4 године, 4–6, 6–12 год и 12–18 год. Важност GMFCS и других класификационих система за децу са ЦП је

да прати током времена позитивне промене које су најизраженије у раном детињству, али и оне негативне промене које се најчешће јављају у адолесцентском периоду. Самостални ход означава ниво 1 и 2, ход уз помоћ помагала ниво 3, кретање уз помоћ колица ниво 4 и кретање уз помоћ колица и помоћ одрасле особе ниво 5. GMFCS може послужити за праћење промена локомоторне функције. Евалуације деце по GMFCS је погодна за праћење моторних трајекорија развоја од рођења до 18 год. у зависности од тежине оштећења (Smits et al., 2013). Под покровитељством CanChild центра за истраживање неуроразвојних проблема установљена је тзв. Крива моторичног развоја, користећи ниво GMFCS и инструмената процене GMFM-66 за праћење велике популације деце са ЦП у Канади (Rosenbaum, 2009). Крива моторичног развоја даје могућност праћења моторичног капацитета детета и помаже у постављању реалистичних циљева за пацијента током времена и упознавања породице са могућностима детета. Већина деце са ЦП максимална моторичка постигнућа постижу у распону 6–8 година (Hanna, Rosenbaum, 2009) а Beckung истиче распон 6–7 година за максимална постигнућа код деце која су на редовним третманима, према поменутој Канадској и Шведској студији која је истраживала 319 деце која су припадала свим нивоима на GMFCS (Beckung, 2002). Канадска студија која је обухватила 103 пацијената показује да остварени ниво постигнућа на GMFCS у узрасту од око 12 година је предвиђујући за моторичке функције истог пацијента у одраслом добу (McCormick at al., 2007).

Регистар ЦП у Аустралији 2013 је објавио да 60% деце самостално хода (35,5% GMFCS ниво 1, 24,5% GMFCS ниво 2), хода уз помоћ помагала 10%, GMFCS ниво 3, 30% користе колица (12,2% GMFCS ниво 4 и 14,1% GMFCS ниво 5) и посебно је важно да родитељи немају погрешну представу да су сва деца са ЦП корисници колица (Australian Cerebral Palsy Register, 2013). Са адолесценцијом и одраслим добом код неких пацијената ће доћи до смањења издржљивости и промене хода као последица бола, умора, мускулоскелетних промена, слабих ортопедских исхода, повећања телесне тежине или страха од пада (Liptak, 2008).

Прогноза

Сваки период живота детета са ЦП има своје специфичности и терапијске циљеве. Од раног преко средњег и позног детињства терапије су усмерене на побољшање

функционалних могућности, активности, партиципације деце и адолесцената. Мало је студија на енглеском језику које се баве одраслим особама са ЦП. Квалитет живота одрасле особе са ЦП такође је веома важан. Резултати истраживања одраслих са ЦП сумирани из 6 иностраних студија показују да 31% живи самостално, 12% је ожењено, 24% има више образовање и 28% је запослено (Liptak, 2008). Основни прогностички фактори за запосленост су добре когнитивне способности, блажа оштећење ЦНС, употреба технологије и подршка породице. Животни век особа са ЦП зависи од тежине моторичког, когнитивног, визуелног оштећења. Задњих 20 год. дошло је до продужења животног века превенствено због побољшања неге најтежих пацијената и нових могућности храњења и гутања код најтежих форми ЦП. Већина деце са ЦП има просечни животни век, осим око 5–10% пацијента са епилепсијом, интелектуалном ометеношћу и тешком формом ЦП који имају лошу прогнозу и краћи животни век (Novak, 2012).

1.1.2 Роботски потпомогнути тренинг хода – Локомат

Локомат је дизајниран у Hocoma швајцарској компанији и један је од најчешћих роботских платформи у рехабилитационим клиничким центрима широм света за тренинг хода. Локомат могу користити одрасли и педијатриски пацијенти. *LokomatPro* се састоји од егзоскелета за сваку ногу појединачно, суспензионог система и покретне траке. Покрети егзоскелета сихронизовани су са брзином покретне траке уз софтерско праћење покрета у зглобу кука и колена (Druzbicki, 2013). Контролисана сила егзоскелета на карлични појас и ДЕ омогућава образац физиолошког хода које деца са ЦП не могу самостално изводити у слободном ходу, при чему су јасно дефинисане фазе хода – фаза ослонца и фаза клаћења. Упркос потенцијалу ова технологија има ограничења у свакодневном раду јер захтева асистенцију два физиотерапеута.

Пре почетка првог третмана потребно је према индивидуалним карактеристикама одредити величину ортоза за ДЕ, величину појасева и забележети основне податке пацијента и величине ортоза у Локомат програму. Припрема пацијента намештањем појасева и спуштање на покретну траку, подешавање величине

егзоскелета, додавање подизача стопала, техничко програмирање Локомата према индивидуалном пацијенту, као и распремање пацијента након интервенције јесте процес који захтева усклађени рад два стручњака како би се припремна фаза завршила у кратком временском периоду и пацијент био правилно позициониран и спреман за почетак тренинга хода. Пре почетка тренинга треба анализирати пацијентов положај на Локомату и кориговати уколико постура или ход нису усклађени.

Слика 1: Локомат

Добро познавање индивидуалног функционалног статуса деце, кинезиолошке анализе хода и Локомат параметара је основа овог тренинга хода. Препоручује се подешевање параметара хода за децу старију од 6 година: флексија кука од 36- 42 степени, код смањења обима покрета у колену због спастицитета, флексија од 60-66 степени, растерећење тежине од 50 % на почетку третмана да би се постепено смањивало како се повећава број третмана, брзина хода од 1.2 km/h да би крајем прве недеље достигла 1.5 km/h (Zak, 2010). Током тренинга хода парцијални ослонац на покретној траци захтева асистенцију два физиотерапеута који ће контролисати пацијентов положај ДЕ и пренос тежине (Dias, 2007).

Током тренинга хода на екрану се могу очитати основни параметри који укључују време, пређену раздаљину, минималну и максималну брзину хода, минималну и средњу вредност силе робота изражене у процентима и потпоре изражене у kg и тако дати могућност пацијенту са добрим когнитивним могућностима да прати постигнуће током тренинга.

Постоји могућност аутоматске процене: *L-ROM* обима покрета флексије и екстензије у зглобу кука и колена, *L-STIFF* нивоа механичке укрућености у куку и колену коришћењем различите брзине и *L-FORCE* изометријске мишићне силе у мишићним групама флексора и екстензора кука и колена и те вредности могу бити представљене табеларно и графички за леви и десни екстремитет (Colobro, 2016).

Lokocontrol 6.5 је софтерски систем који је побољшан 2017, једноставнији је за употребу, садржи нове игрице, терапијски план за сваког пацијента је сачуван. Графички и табеларно пацијент може увидети разлику између леве и десне ноге посматрајући највећу и најнижу активност на телевизијском екрану испред себе. Компијутерски подаци за сваког појединачног пацијента су подхрањени у систему и добра су основа за научно истраживачки рад (Hocoma, 2020). О сигурности пацијената се води рачуна, тренинг је безболан а толерише се благо присуство бола током првих 2–3 третмана и бол је најчешће последица притиска манжетни или појаса.

Терапијски циљеви Локомата

Коришћењем ортоза за ДЕ уз помоћ Локомата постиже се максимално могућ физиолошки ход, могуће је ходати увек истим ритмом и брзином и то су најважније предности у односу на традиционални тренинг хода који користи траку за трчање (Westlake, 2009).

Примена Локомата може имати различите циљеве:ре-едукација хода, побољшање брзине и издржљивости хода, побољшање мишићне снаге, нормализација мишићног тонуса, превенција контрактура и остеопорозе, побољшање постуре и стабилности трупа, побољшање концентрације, пажње и визуалне перцепције, побољшање проприоцепције и моторне координације (Zak, 2010).

Локомат може позитивно утицати на телесне функције према Међународној класификација функционисања, неспособности и здравља

1. Физиолошки образац нормалног хода, са започињањем ослонца на пету је неубичајан код пацијената са ЦП. Уз помоћ специјално дизајнираног подизача стопала и егзоскелета патолошка шема хода се коригује.

2. Постоји могућност промене брзине хода.

3. Такође се у току третмана могу кориговати углови у зглобовима у циљу повећања екстензије у колену и куку и који су изузетно важни код деце са повећаним спастицитетом у m. hamstrings и m. Iliopsoasu. Софтвер омогућава постепено повећање обима покрета у куку и колену променом позиције зглобова и у току саме терапије чиме се остварује повећање обима покрета у зглобовима и истезање спастичних мишића.

4. Одабир брзине хода, дужине корака, адаптације силе уређаја у смислу симетричног или асиматричног ослонца и преноса тежине на ДЕ. Контрола покрета у циљу боље контроле трупа, позиције карлице, смањења пасивне подршке и стимулације сопственог ослонца је важан циљ током терапије којим се утиче и на осећај и развој положаја тела – проприоцепцију.

5. Повећање експлозивне снаге мишића је могуће повећањем ослонца пацијента и смањења силе уређаја као и додатним отежавањем хода попут прескакања препрека на покретној траци или шутирања лопте.

6. Утиче се на мишићни тонус када је брзина хода мања и када се повећа обим покрета Ако је једини циљ терапије смањење мишићног тонуса, додатна мотивација пацијента и примена виртуалне реалности није потребна.

7. Повећање издржљивости тренинга хода се постиже временским повећањем дужине трајања третмана (Aurich-Schuler, 2015).

Без обзира да ли се тренинг хода врши користећи традиционалне интервенције попут покретне траке, хода у разбоју, хода у слободном простору или преко роботских уређаја, он помаже у превенирању секундарних мускулоскелетних компликација код деце са ЦП у пубертету као што су контрактуре у зглобовима, губитак мишићне снаге, скраћења мишића и тетива, повећања мишићног тонуса и превенирање губитка коштане масе која води ка остеопорози. Због тога је веома важно да пацијенти са ЦП посебно од периода пубертета уз помоћ тренинг хода одржавају своју моторичку функционалност.

Додатни задаци

Тренинг Локомата се може модификовати на разне начине у зависности од когнитивних способности детета и моторичких могућности. Постоји могућност интеракције терапеута и детета како би третман био занимљивији и комплекснији попут ослобађања ослонца ГЕ, руке се реципрочно крећу и ход наликује реципрочном ходу при чему се усклађује координација доњих и горњих екстремитета. Активност горњих екстремитета се може повећати игром бацања лопте, тапшања. Терапеут може задавати вербалне налоге за ритам хода, прогресија хода се може стимулисати додатним задатком попут прескакања препреке, шутирања лопте, вербалним налогом терапеута да убрза ход. Клиничка пракса је показала да је бржи ход ближи физиолошком ходу и да повећање брзине повећава пацијентову концентрацију и пажњу (Schuler, 2015).

Виртуелна реалност

Виртуелна реалност (ВР) се дефинише као "*коришћење интерактивне стимулације креирано компијутерским хардвером и софтвером у циљу презентовања корисника са могућностима да се ангажује у виртуелном окружењу које изгледа и прилично је слично стварним животним објектима и околностима"* (Weiss, 2004). Коришћење виртуелне реалности у моторној рехабилитацији је новијег датума. У оквиру студије у којој је укључено 369 деце и адолесцената са ЦП постоје докази да је примена обећавајућа за побољшање баланса и других моторних вештина (Ravi, 2017). Нови и савремени начин фидбека је апликација виртуелних сценарија, где је пацијент са својим активним учешћем у интеракцији са виртуелним објектима и осећа да је део виртуелног окружења током терапије (Meyer-Heim, 2013). Током специфичног моторног задатка попут роботски потпомогнутог хода сензорни фидбек пружа пацијенту тренутни и константни фидбек и тако се постиже активно учешће пацијента уз сталну фокусираност. Деца са могућношћу хода показују адаптабилност у ходу и добар одговор на фидбек, резултирајући значајним побољшањем екстензије у куку и колену (Gelder, 2017). Пружање могућности избора видео игара може оптимализовати учење (позитивни фидбек, смањење нивоа тешкоће) кроз повећање мотивације и омогућити пацијенту да се осећа сигурније и развије самопуздање током виртуелног задатка (Wulf, Lewthwaite, 2016). У студији

Перцепција физиотерапеута о факторима који утичу на успостављање моторичких функција деце са ЦП: Импликација за клиничке одлуке (Physical therapists' perceptions of factors influencing the acquisition of motor abilities of children with cerebral palsy: Implications for clinical reasoning**)** у којој су физиотерапеути рангирали факторе који су важни за усвајање моторичких вештина, мотивација детета се издвојила као најзначајнији фактор из домена личних фактора (Bartlett, 2002). Студије су потврдиле следеће: да би дошло до повећања функције руку, потребно је стотину понављања дневно кроз функционалне задатке како би то довело до структуралних неуролошких промена (Guadagnoli, 2004). Веома је тешко мотивисати дете за многоструко извођење функционалних покрета у традиционалном приступу, то захтева велику креативност и стрпљење. Велики избор видео игрица и примена виртуелне реалности према дететовом узрасту и интересовању чини ове терапије интересантнијим. Већи број студија истражује однос виртуелне реалности и функције руку а мањи број студија се фокусира на баланс и функцију ДЕ. У закључку систематског прегледа и мета-анализе рандомизованих клиничких студија под називом *Ефикасност виртуалне реалности код деце са ЦП* (Effectivness of Virtual Reality in Children with Cerebral Palsy: A systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials), који је укључио 19 студија, велики ефекат на побољшање функције руку се постиже коришћењем виртуелне реалности а средњи ефекат се постиже за функцију хода у односу на конвенционалну терапију (Chen, 2018).

Објашњење како виртуелна реалност (видео игрице) утиче на моторно постигнуће детета може се сажети у три врсте разлога. Први је везан за учеснике (дете/ адолесцент), код којих долази до повећања когнитивног ангажовања и мотивације током видео игрица, које у дужем периоду примене утичу на неопластичне промене мозга. Други разлог је перспектива саме игрице, која пружа могућност извршења специфичног задатка који је сличан некој животној ситуацији, с том разликом што пружа могућност адаптације тежине видео игрица и даје визуелни или звучни фидбек пацијенту. Трећи разлог је подршка детету која може доћи од стране терапеута, родитеља или вршњака (Levac, 2014).

Примена видео игрица утиче на смањења ограничења у активностима и повећава партиципацију детета и адолесцената, јер коришћењем виртуалне реалности

утичемо на личне факторе пацијента и на факторе спољног окружења. Ово је пример позитивног утицаја концептуалних фактора на функционисање детета према ICF-CY класификацији.

Виртуелна реалност у склопу Локомата

У Локомат систему постоје многобројне видео игрице под називом *Augmented Performance Feedback* са циљем да побољшају образац покрета хода, преноса тежине и симетричности хода, или стимулисања захваћене стране код хемиплегичног облика ЦП, побољшања концентрације и пажње, стимулације брзине хода и издржљивости хода. Избор видео игрице зависи од индивидуланог циља третмана и могућности детета. Постоји могућност примене једноставнијих игрица за децу нижег когнитивног функционисања.

Постоје четири фазе Локомат тренинга. У првој фази пацијент нема моторну контролу и потребна је потпуна асистенција Локомата у у том случају видео игрица *Острво Природе* (Nature Island) има за циљ да одржи искључиво пацијентову пажњу на екрану. У другој фази основни циљ је да пацијент буде максимално укључен и да добије фидбек своје активности користећи неколико видео игрица *Осмех* (Smile)*, Графички приказ* (Biofeedback graphs*), Габарело (* Gabarello), *Брже* (Faster), *Одржи курс* (Keep Course). У трећој фази у зависности од фазе хода пацијент може да модулише боље своју мишићну активност и поспеши своју мишићну издржљивост. Веома је важно да у овој фази пацијент успева да пренесе своју издржљивост и на активности свакодневног живота. У овој фази могу се користити све игрице из предходне фазе уз додатак игрица *Благо* (Treasures) и Потрага (Curve Pursuit). У четвртој фази пацијент има малу силу подршке Локомата и препоручљиве игрице су *Жедни Планинар* (Thirsty Hiker) *Скакач преко леда* (Ice Hopper Side), *Скакач преко леда из птичје персептиве* (Ice Hopper Top). Терапеут бира тежину сваке поменуте игрице, у зависности од циља који је поставио могу се подешавати параметри хода, попут дужине искорака, брзине хода, повећање пацијентове активности и смањење роботске подршке. Током Локомат тренинга даје се приоритет пацијентовом избору видео игрица.

1.1.3. Пластицитет мозга

Неуропластицитет мозга се може дефинисати као способност нервног система да одговори на унутрашње и спољашне дражи реорганизацијом структуре и функције нервних ћелија и њихових веза (Cramer, 2011). Пластицитет подразумева реорганизацију ЦНС настале услед лезије мозга а која се постиже дуготрајним вежбањем (Raskin, 2011). Експерименти на животињама су 80. год. прошлог века доказали да се преобликовање и функционална реорганизација које су круцијални знаци пластицитета дешавају на различитим нивоима организације нервног система. Оштећење незрелог мозга код деце са ЦП пружа већу могућност опоравка јер је пластицитет мозга израженији, доказано је да побољшање настало тренингом горњих екстремитета код хемиплегичне форме ЦП доводи до мерљивих пластичних промена у кортексту код деце (Inguaggiato, 2013).

Важност различитих терапијских интервенција и континуираног вежбања у основи развија сензорно моторно искуство, њима се заправо делује на реорганизационе промене у мозгу како би неурони преузели функције лезијом уништених делова мозга и ојачали синаптичке везе. Један од принципа у рехабилитацији је да се пластицитет подстиче употребом и зато је важно понављање моторних задатака уз усмеравање пажње на тај задатак и постепену прогресију моторног тренинга (Илић, 2017). Сматра се да су мотивација и пажња критични модулатори пластицитета мозга (Cramer, 2011).

Мозак је највећа непознаница посебно у домену спонтаног опоравка можданих структура и утицаја пацијентове воље и мотивације на исход. Научници који проучавају људски мозак и његове капацитете опоравка знају да су неурофизиолошки процеси опоравка убрзани великим бројем понављања моторне активности најчешће кроз форму сврсисходних функционалних активности (Hesse, 2001, Barbeau, 2003) и кроз интензивни тренинг у раној рехабилитацији (Trivedi, 2008). Велики број понављања покрета током роботске рехабилитације одраслих утиче на кортикалну организацију и омогућава процес моторног учења и опоравка (Turner, 2013) а код деце пружа веће могућности због повећаног капацитета пластицитета мозга (Peri, 2017).

1.1.4. Ход

Карактеристике нормалног хода

Ход је основна локомоторна функција која је јединствено обележје људске врсте. Нормалан ход подразумева синхроно деловање и координацију ДЕ, ГЕ, уз минималну потрошњу енергије и зато је енергетски ефикасан. За ход је потребна равнотежа – могућност да се заузме и одржи усправан положај и локомоција – могућност да се иницира и одржи ритмичко корачање. Ход је сложена моторна активност која захтева потпорни механички систем као и контролу многих неуралних структура попут можданог стабла, базалних ганглија и кортекса (Стевановић, 2002).

Фазе хода

Ход се састоји од две фазе, фазе ослонца и фазе клађења (њихања) при чему фаза ослонца износи 60% укупног циклуса хода а фаза клађења 40%. Током хода јавља се и фаза двоструког ослонца када су обе ноге на подлози. Ход започиње ударом пете о подлогу, затим следи спуштање стопала на подлогу и преузимање телесне тежине на носећој нози – међуослонац а затим одвајањем пете започиње период одбацивања уз активност флексије у куку и колену, који се употпуњује одвајањем палца од подлоге, којом ће то тада носећа нога прећи у клатећу фазу. Важно је напоменути да је пре одвајања палца друга нога спремна за удар пете и да постоји краткотрајни ослонац на обе ноге. Фаза клађења подељена је на иницијално клађење, међуклађење при чему је важан минималан активан покрет дорзи флексије стопала и завршно клађење (Levangie & Norkin, 2005).

Карактеристике хода деце са ЦП

Деца са ЦП имају проблем постуралне контроле и у зависности од тежине оштећења могу имати дефицит баланса у седу и стајању. Деца са добрим балансом у стојећем положају имаће веће могућности за самостални ход. Постоје многобојне девијације хода код деце са ЦП а због процеса раста и развоја, ход као основна локомоторна функција подлеже променама у овој популацији деце. Спастицитет, мишићна слабост и смањена еластичност мишића негативно утичу

на раст костију деце и током времена могу довести и до торзије костију, контрактура, нестабилности у зглобовима, што ће се нагативно одразити смањењем покрета у ДЕ, смањењем брзине и ритма хода, и повећати утрошак енергије потребан за ход. Мускулоскелетне промене због спастицитета могу довести до деформитета попут сколиозе, деформитета стопала, дислокације кука и контрактура у лакту, шаци и зглобу рамена (Graham, 2003). Познато је да у одраслом добу квалитет хода опада код 25% особа са ЦП, посебно код старијих особа мање самосталних у ходу, са билатералном формом и са већим степеном бола и умора (Morgan, 2013, Opheim, 2009).

У студији *Обрасци хода код деце и младих са спастичном хемиплегичном формом* (Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adult), класификована су 4 образца хода у циљу идентификације проблема хода и потенцијалног третмана, (Winters, 2008). Код типа 1 хемиплегично стопало је пало (dropfoot), код типа 2 су мишићи задње ложе потколенице у контрактури, код типа 3 изражен је спастицитет hamstrings и/или rectus femoris и тип 4 карактеришу спастични адуктори и флексори кука. (Winters, 1987). Мишићи са повећаним спастицитетом који су и склони контрактурама су су флексори кука (m.iliopsoas) и колена (m. hamstrings) и платарни флексори (m. triceps sure) и њихова активност и еластичност утичу на образац хода. Велики допринос у идентификацији хода деце са ЦП дају истраживања Rodda & Grahama. Њихова студија пресека је обухватила анализу хода коришћењем кинематичке анализе у лабараторији хода на 187 деце са спастичком диплегијом. Резултат је класификација 5 различитих образаца хода деце са ЦП.

1. *Прави еквинус* – Положај стопала је у еквинусу док је колено потпуно опружено или у рекурватуму, кук је у пуној екстензији. Карлица је у нормалној позицији или у предњој инклинацији.
2. *Jump gait*. – Положај стопала је у еквинусу посебно при ослонцу али су колено и кук у флексији, посебно у фази започињења ослонца, али никада не постижу пуну екстензију покрета. Карлица је у нормалној позицији или у предњој инклинацији.
3. *Привидни еквинус* – Положај стопала је у еквинусу који је мање изражен у односу на предходну категорију, стопало има пуни обим покрета. Колено и кук су

у флексији у фази ослонца. Карлица је у нормалној позицији или у предњој инклинацији.

4. *Crouch gate* – Стопало је у дорзифлексији кроз фазу ослонца док су колено и кук у израженој флексији. Карлица је у нормалној позицији или у задњој инклинацији.

5. *Асиметричан ход* – Образац хода на левој и десној нози је различит. На пример образац леве ноге припада категорији 2 а образац десне ноге категорији 3 (Rodda & Graham, 2004).

За сваки образац хода постоји најефикаснији тип ортозе стопала – *Ankle Foot Orthosis (AFO).* Два основна разлога за апликацију ортозе стопала су да утиче на побољшање стабилности у ходу и функционалност хода као и да превенира скраћење мишића и контрактуру мишића (Wingstrand, 2014). Нови докази потврђују да употреба различитих типова AFO повећава дужину корака, брзину хода, побољшава степен дорзи флексије стопала у иницијалном контакту и током фазе клаћења код хемиплегичне форме (Stevens, 2018). Многи пацијенти са ЦП свакодневно користе ортозе за стопало а пожељне су и током роботског тренинга хода.

Анализа хода

Објективнији параметри хода се добијају у лабараторији хода где се користи компијутерски систем за анализу хода. *Тродимензионална анализа хода* (The Three-Dimensional Gait Analysis, 3DGA*)* се данас сматра златним стандардом за свеобухватну процену хода и одлучивање о третману деце са ЦП (Kawamura, 2007). Може се мерити обим покрета у ДЕ, карлици, положај зглобова, ослонац, одређује се дужина корака, ритам, брзина хода, мери се мишићна контракција, идентификује тип контракције, утрошак енергије при ходу. Сви ови подаци могу се видети преко анимације скелета и графичких приказа кинематских и кинетичких вредности за сваку ногу посебно. Ова објективна мерења су посебно важна пре или после оперативног лечења и већина аутора је сагласна да је корисно одложити оперативно лечење на трупу и ДЕ до узраста од 7 год, јер оперативни захвати пре 7 год. не могу убрзати стицање способности за ход

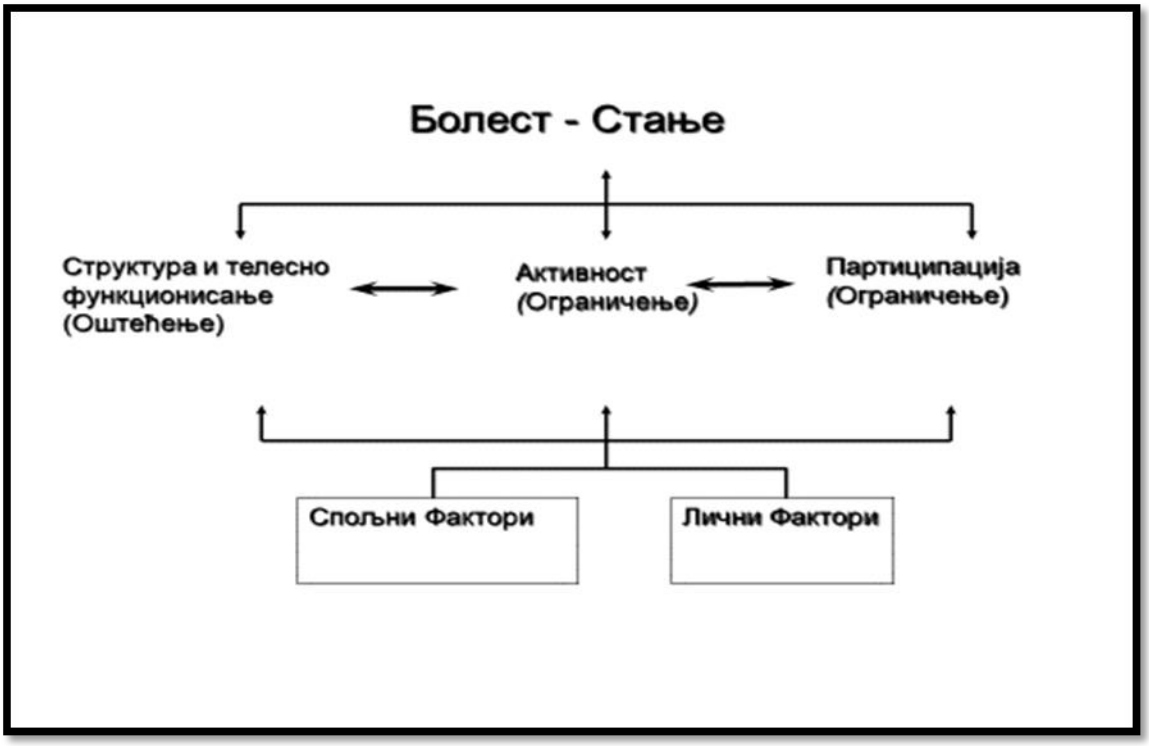
(Чобељић, 2015). 3DGA је свеобухватна процена која првенствено због финансијских разлога и времена потребног за анализу није заступљена у свакодневној клиничкој пракси многих земаља света, и неће бити примењена ни у овом истраживању.

У недостатку објективне анализе у Лабараторији хода обавезан део у клиничком раду је процена хода опсервацијом. Могу се користити различити функционални тестови, при чему се анализирају временски и просторни параметри хода: броја корака у јединици времена *(cadence)* и пређени број метара у јединици времена *(velocity)* и утврдити брзину или издржљивост у ходу најчешће коришћењем тестова хода попут 10 метара тест хода и 6 мин тест хода.

1.1.5. Концепт моторне процене према Међународној класификацији функционисања, неспособности и здравља

Међународна класификација функционисања, неспособности и здравља за децу и младе, Светске Здравствене Организације, (International Classification of Functioning, Disability and Health-Children and Youth, ICF-CY), пружа теоријски и класификациони оквир за разумевање карактеристика здравља и функционисања(WHO, 2007). Ова класификација представља биопсихосоцијални модел у коме доминирају компоненте које утичу на функционалне способности детета а то су: 1. телесне функције и телесне структуре, 2. активност, 3. учешће у социјалном животу, 4. лични фактори, 5. фактори окружења (спољни фактори). ICF-CY описује утицај обољења/стања и спољних и личних фактора на функционисање пацијента. Постоје два суштинска појма у ICF класификацији Функционисање (Functioning) је појам који има позитивну конотацију а неспособност (Disability) има негативну конотацију. ICF-CY има два дела, први испитује телесне функције, структуру, активност и партиципацију, а други подразумева контекстуалне факторе попут фактора окружења и личних фактора. Суштина ове класификације је да посматра пацијента не само кроз домен физичког оштећења, већ кроз лимитиране активности и рестрикцију детета са ЦП у свакодневном животу. Процена деце са ЦП према ICF-CY може бити фокусирана на процену оштећења телесних структура и функција (*Impairment*

Based Assessment) и процена функционалности пацијента кроз активности (*Activity Based Assessment*).



Фиг. 1 Међународна класификација функционисања, неспособности и здравља Преузето из Towards a common Language for Functioning, Disability and Health (Geneva: WHO, 2002)

Процена оштећења телесних структура и функција

Процена деце према ICF-CY моделу обухвата процену телесних функција и телесних структура попут антрометријских карактеристика, кардиопулмонарних, координације, издржљивост/потрошњу енергије, фитнес процену, процену бола, баланса, постуре, обима покрета, рефлекса, спастицитета, мишићне снаге, сензорне перцепције, визомоторне перцепције (APTA, 2013). Уколико се процењује моторни статус деце са ЦП важна је процена мишићног тонуса, мерење обима покрета, процена мишићне снаге, процена селективне моторне контроле.

Процена функционалности пацијента кроз активности

Према ICF-CY моделу процена компоненте Активност подразумева процену хода, грубих и финих моторних функција, игре, укључујући и многобројне упитнике и скрининг скале (APTA, 2013).

Најчешће коришћен инструмент процене за децу са ЦП који је из домена Активности је *Gross Motor Function Measure (GMFM)* који евалуира промене у грубој моторици (Russell, 1989, Russel, 2005). Процењују се моторичке активности у различитим положајима: лежећи положај и окретање у лежећем положају (димензија А), положај седа (димензија В), четвороножни и клечећи положај, (димензија С), стајање (димензија D), ход, трчање и скакање (димензија Е). GMFM не мери квалитет покрета већ само ниво усвајање базичних моторних функција. Такође лаки за процену су фунционални тестови веома заступљени у клиничкој пракси попут теста устај и ходај, 10 m теста хода, 6 минута теста хода, тест хода уз степенице итд.

Развој основних категорија за децу и младе са ЦП према ICF (Development of the international classification of functioning, disability and helth core sets for children and youth with cerebral palsy) је велика студија којој је циљ да поједностави примену ICF-CY класификације тако што ће пронаћи најважније категорије (core set) за узраст од 0 до 6 год., од 6 до 11 год. и од 14 до 18 год. и тако постати водич процене, терапије и праћења деце. Користећи ICF кодинг систем од 78 инструмената процене издвојене су најчешће коришћени инструменти процене. Ако је циљ истражити компоненте активности и партиципације, посебно аспект Мобилност, најбоље скале су *Процена грубе моторичке активности* (Gross Motor Function Measure, GMFM) и *Жилет упитник функционалне процене* (Gillette Functional Assessment Questionnaire), (Gorton, 2011). Schiariti предлаже *Педијатриска процена функционалности /неспособности* (Pediatric Evaluation of Disability Inventory, PEDI), *Упитник о здрављу деце* (Child Health Questionnaire, CHQ) и *Инструмент за прикупљање података о исходима код деце* (Pediatric Outcomes Data Collection Instrument, PODCI) за компоненте активности и партиципације. *GMFM* и *PEDI* примарно покривају компонетне телесног функционисања, активности и партиципације док *PODCI* и *CPQOL* најбоље покривају факторе окружења и личне факторе.

Све ови тестови имају добре психометријске особине за мерење здравља деце а *GMFM* и *CPQOL* су специјално дизајниране за децу са ЦП. Њихов закључак је да је потребна комбинација инструмената процене јер ниједан инструмнет не може у потпуности репрезентовати све компоненте ICF-CY (Schiariti at all., 2014).

"*Концепт квалитета живота се дефинише као индивидуална перцепција у контексту културних и вредносних ставова средине у којој живе у релацију са циљевима, очекивањима, стандарду и бризи"* (WHO, 2002). У контексту рехабилитације квалитет живота представља важан допуњујући део процене који даје свеобухватну слику утицаја здравстевног стања пацијента на дететово социјално, емоционално и физичко стање и даје важне информације које помажу стручњацима у доношењу одлука о планирању индивидуалних третмана (Vinson, 2010). Специфични упитници за ЦП детектују промене квалитета живота који су специфични за то стање. Постоје 4 упитника специјално дизајнирана за децу са ЦП: *Квалитет живота особа са церебралном парализом* (Cerebral Palsy Quality of Life, CPQOL*), Индекс здравља детета са инвалидношћу- Перспектива неговатеља,* (Caregiver Priorities and Child health Index of Life with Disabilities), *Квалитет живота код деце -модул ЦП* (Pediatric Quality of life Inventory CP Module) и DISABKIDS CP модул *(Gilson, 2014).* Систематски преглед је потврдио да је CP QOL на школској популацији деце имао најбоље психометријске особине (Carlon, 2010).

Упитник CP QOL је инструмент процене намењен за процену квалитета живота деце и омладине са ЦП. Постоји у верзији за родитеље или неговатење и у верзија за децу и омладину различитог узраста.

1.2. Предходна истраживања

1.2.1. Предходна истраживања роботски потпомогнутог тренинга хода

Постоје многобројне студије из различитих делова света на тему ефикасности роботски потпомогнутог тренинга хода на функционални аспект хода али и на биомеханички аспект који укључује кинематичку и кинетичку анализу хода. Резултати многобројних студија нису уједначени, консензуса нема. Неки од разлога контрадикторних резултата су у чињеници да методолошки квалитети студија варирају, неке студије нису имале контролну групу, велики број студија има мали репрезитативни узорак испитаника.

У систематском прегледу *Роботска терапија код деце са ЦП,* (Robotic therapies for children with cerebral palsy: A systematic review) закључује се да још увек постоји недостатак студија са репрезентативним бројем учесника и зато је тешко евалуирати ефекат роботске терапије а поготово дугорочне ефекте. Инклузија когнитивног аспекта кроз дизајн виртуелног сценарија у комбинацији са роботским уређајима даје обећавајуће резултате (Bayon, 2016). У научном чланку *Роботска рехабилитација доњих екстремитета* (Robotics for Lower Limb Rehabilitation) истиче се да је фокус истраживања да се одреди релација односа интезитета терапије односно дозе роботског тренинга на резултат. Пажња треба да буде усмерена у будућности на усавршавање техничких могућности роботских уређаја, посебно у погледу цене и величине (Esquenazi, 2019).

У систематском прегледу и мета-анализи *Роботски тренинг хода за особе са ЦП (*Robotic gait training for individuals with cerebral palsy: A systematic review and meta-analysis), које обухвата 10 студија (9 користећи Локомат) закључује се да је статистички значајно повећана брзина хода и издржљивост у ходу у 7 студија, при чему су најбољи резултати постигнути са групом деце која су на нивоу GMFCS II. Дужина Локомат тренинга трајала је 30 минута и спроводила се 4 пута недељно (Carvalho, 2017). Систематски преглед *Ефикасност роботско потпомогнутог тренинга хода за педијатриска обољења која се одражавају на ход* (The effectiveness of robotic-assisted gait training for paediatric gait disorders: systematic review), је испитивао педијатријске проблеме хода код деце са неуролошким и

ортопедским проблемима и закључује да су слаби и непоуздани докази да је роботски тренинг хода ефикасан у поправљању брзине хода и баланса у стојећем положају (Lefmann, 2017). У истраживању у којем је учествовало 23 деце са ЦП, *Дејство динамичног преноса тежине током процеса тренинга хода на покретној траци на функцију хода код деце са ЦП* (Effect of the integration of dynamic weight shifting training into treadmill training on walking function of children with cerebral palsy), показало се статистички значајно побољшање у брзини хода при шестоминутном тесту хода код деце која су имала роботски потпомогнути тренинг у односу на децу која су имала само тренинг на покретној траци и код којих нису забележене статистичке разлике. Интезитет терапије у овој студији је био 3 пута недељно током 6 недеља (Wu, 2017). У истраживању *Ефекат роботско потпомогнутог тренинга хода на динамичку контролу баланса код деце са ЦП* (Effect of robotic-assisted gait rehabilitation on dynamic equilibrium control in the gate of children with cerebral palsy) се показало да је код билатералне спастичне ЦП дошло до адаптације нове организације хода и промене обрасца хода, који је статистички значајан у односу на контролну групу. Ова експериментална студија је потврдила хипотезу да Локомат тренинг побољшава постуралну контролу и локомоторну функцију када се спроводи 5 пута недељно током 4 недеље у трајању од 40 мин. (Walard, 2017). У приказу случаја два пацијента са crouch ходом и два пацијента са екинусом стопала испитаници на GMFCS II су статистички значајно напредовали у клиничким тестовима процене али и у биомеханици хода, док су код деце на GMFCS нивоу III промене једино у брзини и издржљивости хода након 6 недеља тренинга у трајању од 30 мин. (Patritti, 2010).

Ефикасност Локомат тренинга на функционалне параметре хода потврдила је и студија *Побољшање хода након роботски потпомогнутог тренинга хода код деце са ЦП* (Improvenet of walking abilities after robotic-assisted locomotion training in children with cerebral palsy) на 22 пацијената узраста 4–12 година који су на тесту 10 m поправили брзину до 15% а на тесту стајања димензије Е за 6% (Meyer-Heim, 2015). Нема много студија које се баве испитивањем баланса, студија испитивања утицаја Локомата тренинга на баланс *Процена утицаја роботског тренинга хода на баланс код деце са ЦП* (Assessment of the impact of orthotic gait traning on balance in children with cerebral palsy) користила је Зебрис лабараториску

платформу и показала је статистички боље резултате код ЦП деце на Локомат тренингу са затвореним очима, што аутор повезује са побољшањем контроле вестибуларног система, када је визуелна стимулација изостала (Druzbicki, 2010).

У петонедељном истраживању, у којем су обухваћена деца, адолесценти и одрасли са ЦП узраста 4–27 година, са билетералном формом спастичне ЦП испитивао се утицај роботско потпомогнутог тренинга на моторне функције у зависности од тежине оштећења (Effect of robot assisted treadmill training on motor functions depending on severity of impairment in patients with bilateral spastic cerebral palsy), испитаници на GMFCS нивоа III и IV имају статистички значајно побољшање у димензијама A, B, C у односу на децу GMFCS нивоа I и II на GMFM скали процене. Деца новоа I, II имају побољшање на нивоу D и E које није статистички значајно али значајно статистичко побољшање постижу на шестоминутном тесту хода (Klobucka, 2013*)*. У истраживању *Роботско потпомогнути тренинг на покретној траци побољшава ход и стајање код адолесцената са ЦП*, (Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy) наводи се да тежина моторичког оштећења утиче на могућност напредовања детета током тронедељног тренинга (Borggaefe, 2010). У тој студији 20 деце је имало 12 третмана Локоматом. Деца са GMFCS нивоа I и II су статистички значајно напредовала у домену D и E на GMFM тесту у односу на децу нивоа III и IV.

У рандомизованој студији пресека *Упоређење роботски потпомогнути тренинг хода у односу на функционални тренинг хода код деце са ЦП* (Comparison of a robotic-assisted gait-training program with a program of functional gait traning for children with cerebral palsy: design and methods of a two group randomized controlled crossover), постављена је свеобухватна процена деце ослањајући се на велики број инструмента процене према ICF класификацији за процену телесних функција, структура, за активност, партиципацију и квалитет живота. То је једина студија која је користила следеће инструменте процене партиципације и квалитета живота деце која су на Локомат тренингу : Педијатријски упитник процене функционалности (Pediatric Outcomes Data Collection Instrument, PODCI), *KIDSCREEN упитник*, *Скала процене постигнутих циљева* (Goal Attainment Scaling, GAS), *Квалитативан процена дневних могућности по канадским*

ауторима (The Canadian Occupational Performance Measure, COPM), (Hilderley, 2016).

У истраживању *Побољшање хода након интезивног Локомат тренинга код деце са ЦП,* (Improved gait after repetitive Locomotor training in children with cerebral palsy) истиче се значајно повећање брзине, дужине корака, на тесту 10 m и 6 мин. и у кинематици кука које се одржало један месец након третмана у односу на контролну групу (Smania, 2011). Важност интензивног тренинга Локоматом је у периоду од најмање 4 недеље до 10 недеља истакнута је у истраживању *Утицај дужине и интезитета третмана на функцију хода код деце са ЦП* (Effect of dose and duration on walking ability of children affected by cerebral palsy, Peri, 2017).

Неке од студија, осим процене пре Локомат тренинга, евалуирале су пацијенте и до 6 месеци након завршетка третмана. У студији *Одрживост моторичког постигнућа након роботско потпомогнутог тренинга хода код деце* (Sustainability of motor performance after robotic-assisted treadmill therapy in children: An open, non-randomized baseline-treatment study) на 14 пацијената који су имали 12 третмана Локомата током тронедељног тренинга урађено је ретестирање 6 месеци по престанку тренинга хода уз помоћ Локомата. Исти резултати моторне процене су се одржали и након 6 месеци по престанку Локомат тренинга (Borggaefe, 2010).

У канадском квалитативном истраживању *Морате да пробате: Искуство родитеља деце са ЦП која су имала роботски тренинг хода* (You gotta try it all": Parents' Experiences with Robotic Gait Training for their Children with Cerebral Palsy), циљ је био да се испита мишљење и став родитеља петоро пацијената у погледу ефикасности роботски потпомогнутог тренинга на ход детета, код деце нивоа II и III на GMFCS, узраста 5–7 година. Резултати су потврдили да родитељи сматрају ход приоритетом за благостање свог детета, ефекат Локомат тренинга везују за категорију баланса и хода при чему потенцирају коректан образац хода. Родитељи сматрају да коректни ход омогућава превенирања пада и постизања веће самосталности у активностима дневног живота. Локомат тренинг родитељи су описали као револуционарну, фантастичну, инспиративну и сигурну интервенцију, која нема нежељена дејства. Родитељи су истакли позитиван ефекат на дететов доживљај идентификацијом са роботом и забавном интервенцијом која

је омогућена видео игрицама. Такође истичу неопходност доброг контакта детата са терапеутом који надгледа роботску терапију и сви родитељи изражавају потребу са Локомат тренингом и у будућности. Одговори родитеља у односу на ишчекиване циљеве крећу се у распону од тога да Локомат тренинг даје огроман учинак до резервисанијих одговора да родитељи нису сигурни како ће се ефекат овог тренинга одражавати на свакодневне дететове активности (Beveridge, 2014).

1.2.2. Предходна истраживања традиционалног тренинга

Постоје многобројни систематски прегледи који испитује ефикасност различитих терапеутских интервенција, које потпомажу развој постуралне контроле, утичу на спастицитет мишића, на мишићну снагу ослабљених мишића, баланс, јер су то неопходни елементи потребни за успостављање и одржавање функције хода код деце са ЦП.

У традиционалном тренингу код деце са ЦП вежбе снаге су неозабилазни елемент. Вежбе снаге се изводе користећи додатни отпор у виду еластичних трака различитог отпора, тегића (resistance training). Вежбе снаге можемо дефинисати као систематски програм вежби дизајниран да узрокује мишићну контракцију против спољашне силе са циљем да повећа мишићну снагу и издржљивост мишића, на који усмеравамо додатни отпор (Fleck & Kraemer, 2014). Већина деце са ЦП имају мишићну слабост у самим спастичним мишићима. Нови докази показују да мишићна слабост када се пореди са спастицитетом може више утицати на функционалну неспособност пацијента него спастицитет (Rhimmer, 2001). У систематском прегледу *Ефикасност тренинга снаге код особа са ЦП* (A systematic review of the efectiveness of strength-training programs for people with cerebral palsy) је истакнуто да вежбе против отпора повећавају мишићну снагу без повећања спастицитета а са друге стране отварају могућност да повећана мишићна снага утиче на побољшање моторне функције и финкције хода (Dodd, 2002). Задњих година се све више пажње придаје извршавању одређених задатака или функција као облика вежби јачања. У рандомизизираној клиничкој студији *Ефикасност вежби отпора приликом вежби сед- устајање код деце са лакшом формом спастичне диплегије* (Effectiveness of loaded sit to stand resistance exercise

for children with mild spastic diplegia: a randomized clinical trial), функционални тренинг снаге показује статистичко побољшање у активностима грубе моторичке функције (Liao, 2007). Побољшање у компоненти активност и пртиципација је посебно назначено за децу нивоа I, II на GMFCS (Martin, 2010) након функционалног тренинга. У систематском прегледу и мета-анализи *Утицај вежби отпора на моторичке функције код деце са ЦП,* (Impact of resistance therapy on motor function in children with cerebral palsy: A systematic review and meta-analyses), у закључку се наводи да вежбе снаге статистички значајно повећавају снагу ослабљених мишића али и побољшавају моторне функције те је у будућим истраживањима потребно анализирати тип и дужину интервенције као и недељни број вежби (Collado-Garrido, 2019).

Истезање спастичних мишића је саставни део терапије деце са ЦП којим се постиже елонгација мишића и другог конективног ткива око зглоба и незаболиазан је третман којим се превенирају деформитети и контрактуре у зглобовима. Препоручује се истезање у трајању од 30 секунди, у току чега се смањује спастицитет и повећава обим покрета у зглобу (Lee, 2008).

Тренинг баланса у стојећем положају је оптималан када се изводи задавањем и извршењем задатака на равној подлози или подлогама различите мекоће и стабилности. У рандомизованом контролисаном испитивању, пружањем ослонца на доње екстремитете доказано је повећање коштане густине код деце са ЦП (Caulton, 2004). Тренинг баланса доводи до симетричног ослонца после 6 недеља и промене у димезији D која испитује стојећи положај и равнотежу у стајању на GMFM тесту (Bar-Haim, 2008).

Тренинг хода на траци за трчање може се изводити без потпоре ДЕ, са парцијалним ослонцем или са пуном ослонцем на ДЕ. Задњих година порасло је интересовање за испитивање тренинга на покретној траци за трчање и неки аутори су се базирали на ефекат хода, други на функционална постигнућа или на повећање аеробног капицитета деце са ЦП. У систематском прегледу који користи ICF као концептуални оквир износе се проверене чињенице основних физиотерапеутских техника који се односе на функцију ДЕ код деце са ЦП (The evidence-base for basic physical therapy techniques targeting lower limb function in children with cerebral palsy: A systematic review using the International Classification

of Functioning, Disability and Health as a conceptual framework). Показано је да тренинг побољшава ход и издржљивост у ходу, код деце млађег узраста је ефикасан када се користи парцијални ослонац (Franki, 2012). Са друге стране *У систематском прегледу најчешћих физиотерапеутских интервенција код деце школског узраста са ЦП* (A systematic review of common physiotherapy interventions in school-aged children with cerebral palsy), тренинг на покретној траци није доказан као ефикасан код деце школског узраста (Martin, 2010).

Функционални тренинг хода подразумева активно учешће пацијента и има вишеструке бенефите попут повећења стабилности у ходу, брзине, издржљивости хода, повећања аеробног капацитета, мишићна снаге ДЕ. Тренинг хода превенира секундарне компликације попут мишићне атрофије, остеопорозе, губитка обима покрета, скраћења мишића, тетива, зглобне капсуле и смањује спастицитет (Edgerton, 1997). У систематском прегледу и мета-анализи *Ефикасност рехабилитационих инетрвенција које побољшавају брзину хода код деце са ЦП* (Effectiveness of rehabilitation interventions to improve gait speed in children with cerebral palsy: Systematic review and meta-analysis), анализиране су 23 студије и у закључку се истиче да је тренинг хода без ослонца ефективнији него тренинг са ослонцем, ефикасност тренинга хода према функционалном нивоу детета и ослонца није разјашњен (Moreau, 2016). У систематском *прегладу Утицај хода уназад на баланс, грубе моторичке функције и ход код деце са ЦП* (Effects of backward gait training on balance, gross motor function, and gait in children with cerebral palsy: a systematic review) обухваћено је 7 рандомизираних контролисаних студија. Тренинг хода који подразумева ход уназад је показао да поправља баланс, параметре хода и функцију хода без обзира да ли је тренинг на стабилној или нестабилној основи (Elnahhas, 2018).

2. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

2.1 Проблем и предмет истраживања

Роботски потпомогнути тренинг хода је нова терапеутска интервенција у свету и потребни су нови докази његове ефикасности. Предмет овог истраживања је да испита ефикасност интензивног роботски потпомогнутог тренинга хода код деце са ЦП. Зато ће се ово истраживање фокусирати на испитивање баланса у стојећем положају, функционални аспект хода и квалитет живота деце са церебралном парализом која су имала интезивни Локомат тренинг, као прва студија овог типа у Уједињеним Арапским Емиратима.

2.2. Циљ истраживања

Циљ истраживања је да утврди директни утицај роботски потпомогнутог тренинга хода (Локомат) на побољшање баланса у положају стајања и фунционалности хода. Индиректни циљ је да испита утицај роботски потпомогнутог тренинга хода на квалитет живота детета.

2.3.Задаци истраживања

У складу са предходно дефинисаним циљем постављени су следећи задаци:

1. Креирање узорка истраживања, експерименталне и контролне групе.

2.Иницијална евалуација испитаника експерименталне и контролне групе коришћењем пројектом предвиђених инструмената процене.

3. Спровођење традиционалног и роботски потпомогнутог третмана.
4. Завршна евалуација баланса и функционалности хода испитаника експерименталне и контролне групе након завршеног интезивног тренинга.
5. Испитати како родитељи процењују квалитет живота детета, неколико недеља по завршетку терапијских интервенција.
6. Анализа резултата према задатим хипотезама.

2.4 Хипотезе истраживања

1. Локомат тренинг примењен уз традиционалну терапију код деце са ЦП утицаће на већи степен побољшања баланса у односу на ситуацију када је примењена само традиционална терапија.
2. Локомат тренинг примењен уз традиционалну терапију код деце са ЦП утицаће на већи степен побољшања функционалности хода у односу на ситуацију када је примењена само традиционална терапија.
3. Локомат тренинг примењен уз традиционалну терапију код деце са ЦП утицаће на већи степен побољшања квалитета живота у односу на ситуацију када је примењена само традиционална терапија.

2.5 Варијабле истраживања

Опште демографске варијабле

- Узраст
- Пол испитаника

Независне варијабле које се односе на процену моторичких способности детета су временско трајање Локомат и традиционалног тренинга и врсте вежби традиционалног тренинга.

Зависне варијабле које се односе на процену моторичких способности детета:

- Баланс у стојећем положају
- Ход
- Брзина хода
- Издржљивост у ходу
- Пређена дистанца хода

Зависне варијабле које се односе на квалитет живота испитаника:

- Социјално прихватање
- Осећање у вези социјалне рестрикције
- Физичко здравље
- Бол

- Емоционално здравље
- Приступ сервисима подршке
- Осећање у вези са неспособношћу и породично здравље

2.6. План и организација истраживања

У фази припреме за истраживање која је трајала до марта месеца 2020. године спроведено је проучавање литературе страних аутора на тему роботске рехабилитације и извршено је прикупљање библиографских јединица. Током ове фазе размотрени су, анализирани и изабрани мерни инструменти за истраживање.

Позив за ово истраживање биће достављен путем е-мејла родитељима деце са ЦП који су пацијенти установе *Зајед организације за особе са посебним потребама* (Zayed Higher Organisation for People of Determination, ZHO for POD) у Абу Дабију. Пре почетка истраживања извршиће се селекција пацијената и добити писано одобрење родитеља да деца могу учествовати у пројекту. Направиће се план и распоред процене, третмана и евалуације терапије за сваког појединачног учесника у овом истраживању и спровести предвиђени број третмана. Након завршеног истраживања следи статистичка обрада података и писање одређених поглавља докторске дисертације.

Период од септембра до новембра 2020. године био је предвиђен за припрему клиничког истраживања. У овом периоду постигнуто је следеће: креиране су 4 презентације (Power Point Presentation) и осмишљени су обрасци где ће се на дневном нивоу водити евиденција о резултатима тестирања и третманима. Обављено је неколико састанака са запосленим у рехабилитационом центру који ће бити укључени у ово истраживање са циљем упознавања истраживачког поступка. Главни истраживач је припремио детаљна упутства везана за истраживачки процес и указао на важност праћења креираних протокола, стандардизацију процене и стандардизацију третмана за све испитанике. Осмислио је и спровео обуку свих запослених који учествују у овом пројекту. У дводневној радионици, четири запослена физиотерапеута су се упознала са инструментима процене и извршила се стандардизација начина мерења за шест

клиничка инструмената процене. Обезбеђена је сва потребна опрема за тестирање, мерни инструменти и обележена је стаза за тестове хода.

У октобру месецу започето је пилот истраживање на 6 испитаника али је само успело да се уради тестирање јер је рехабилитациони центар престао да ради и затворен је на две недеље због позитивног налаза корене код једне запослене особе. Пилот тестирање је показало просечно време спровођења инструмената процене по испитанику, утврдила се неопходност дводневног тестирања клиничким инструментима процене сваког испитаника, утврдио се редослед тестирања по данима и дужина паузе између тестирања, како би се избегао умор испитаника и добили објективни налази. Утврдили смо да је неопходно проследити упутства родитељима којих ће се придржавати током дана одређених за тестирање. Упутство за родитеље је састављено и биће е-мејлом послато дан раније пре дана тестирања/ретестирања. Сви закључци након пилот тестирања биће примењени у истраживачком поступку.

С обзиром на ситуацију са корана вирусом иницијални план и организација истраживања ће можда претрпети промене и у овом тренутку тешко је са сигурношћу прецизирати временски период истраживања.

2.6.1. Место и време истраживања

Истраживање ће се обавити у рехабилитационом центру *Zayed Higher Organisation for People of Determination* у Абу Дабију, Уједињени Арапски Емирати од новембра до краја школске 2020/ 2021 године.

2.6.2. Критеријуми укључивања и искључивања из студије

Критеријуми укључивања у истраживање подразумевају:

- Децу са спастичном или мешовитом формом ЦП
- Ниво моторног функционисања GMFCS I–IV
- Узраст 4–18 година
- Могу да прате једноставна упутства

Табела 1. Разлози укључивања у студију

Критеријум	**Разлог**
Деца са спастичном или мешовитом типом ЦП	Повећани тонус потпомаже вертикализацију пацијента. Највећи број пацијената са ЦП припада овим формама.
Ниво моторног функционисања GMFCS I, II, III	Означава децу, адолесценте који су самостални у ходу или ходају уз помоћ помагала.
Узраст 4–18 година	Пре 4 год. не могу активно учестовати у тренингу Локомата, до 18 год. јер је то узраст који обухвата децу и адолесценте.
Могу да прате једноставна упутства	Деца нормалног интелектуалног финкционисања, благе и средњих снижених когнитивних могућности могу да учествију у Локомот тренингу.

Постоје опште контраиндикације за примену Локомата попут остеопорозе која доводи до патолошких прелома костију, васкуларна обољења доњих екстремитета или отворене лезије на кожи. Многе хирушке интервенције и компликације које су честе код ове патологије деце се решавају на индивидуалном нивоу и контраиндиковане су у случајевима бола или велике рестрикције пасивног покрета у куку и колену неопходних за примену Локомата.

Критеријуми искључивања из студије подразумевају:

- Децу која су имала третман са ботулин токсином у протеклих неколико месеци (4–6 месеци)
- Хирушки захват у задњих неколико месеци
- Компликације мускулоскелетног система попут контрактура, деформитета ДЕ, нестабилности, дислокације кука, сколиозе које су праћене болом
- Епилепсију која није контролисана лековима (уколико је дете под епилептичким лековима да напад епилепсије није забележен у задњих 12 месеци)

- Да испитаници нису имали Локомат тренинг у задња 3 месеца, као и да током овог истраживања неће имати додатне тренинге сем оних прописаних у овом истраживању.

Табела 2. Разлози искључивања из студије

Критеријум	**Разлог**
Децу која су имала третман са ботулин токсином у протеклих неколико месеци на ДЕ.	Нежељено дејство се често одражава на проблем хода у смислу промене шеме хода, нестабилности у ходу, слабости ДЕ и пада (Preiss, 2003).
Хирушки захват у задњих неколико месеци.	Препорука експертског тима у случајевима хирушких интервенција попут мишићно-тетивних трансфера је да је тренинг Локомата могућ након 6–8 недеља. Ако су сложеније интервенције на ДЕ ортопед мора потврдити да ли је Локомат индикован као и време започињања тренинга након интервенције (Aurich-Schuler, 2015)..
Компликације мускулоскелетног система праћене болом	Неке компликације имају веће факторе ризика. Структуралне промене као последица компликација доводе до бола и препорука експертског тима је да пацијент мора бити без бола током Локомат тренинга. (Aurich-Schuler, 2015).
Епилепсију која није контролисана лековима	Контраиндикација је за примену Локомата.
Да испитаници нису имали Локомат тренинг у задња 3 месеца.	Избећи ефекте предходног Локомат тренинга.

2.6.3. Дизајн истраживања

Ово истраживање ће бити дизајнирано по типу рандомизоване контролисане студије. Након испуњења критеријума за укључивање у студију листа испитаника ће бити направљена према алфабетском реду. Селекција пацијената ће се извршити узимањем сваког другог имена са листе за експерименталну групу а остатак ће припасти контролној групи и на тај начин биће постигнута рандомизација учесника. Процес сврставања пацијената у поменуте групе на овај начин има за циљ да смањи пристрасност истраживача. Ово истраживање ће имати карактер слепе студије како би се добила максимална објективизација процеса истраживања. Приликом иницијалног и завршног тестирања стручњаци који спроводе тестирања неће знати да ли испитаници припадају експерименталној или контролној групи.

У случају честих затварања установе због COVID- 19 позитивних, које ће стопирати интезивни третман у трајању од месец дана и одустајања родитеља да њихова деца буду испитаници због тока пандемије, приступиће се плану Б који ће подразумевати промену типа студије тако да ће се одустати од рандомизоване контролисане клиничке студије и спровешће се ткз. квази- експериментална клиничка студија која ће уместо 50 планираних испитаника имати око 30 испитаника који ће имати Локомат и традиционални тренинг, при чему неће бити рандомизације испитаника и поделе на експерименталну и контролну групу, већ ће сами испитаници представљати нееквивалентну контролну групу.

2.6.4. Опис узорка

На основу сличних радова из иностранства испитанике ће представљати група од 50 пацијената, у експерименталној групи 30 пацијената, у контролној групи 20 испитаника узраста од 4–18 година. Намера истраживача је да има мањи узрасни распон од 4–12 година али је проблем селекције пацијента са дијагнозом ЦП велики изазов и у мирнодопско време када су у питању клиничке студије а посебно током пандемије корона вируса. У овом тренутку није известан број од 50 испитаника за ово истраживање и у зависности од многобројних фактора неке промене у броју испитаника или дизајну студије су могуће.

У септембру месецу у анкети које је ZHO for POD упутила родитељима деце са посебним потребама, 80% родитеља се одлучило за наставу на даљину и рехабилитацију на даљину током школске 2020/21 год. и то ће смањити могућност за регрутовање пацијената са ЦП сличног узрасног нивоа који ће долазити на заказане третмане у рехабилитационој установи. Величина узорка је прилагођена прописима које је влада доставила и препорукама за организацију терапијских интервенција које укључују и дозвољени број пацијената током дана у рехабилитационом центру због мера предострожности COVID-19.

Број испитаника је прилагођен организационо-временским могућностима коришћења Локомат уређаја и неопходним мерама дезинфекције, на 6 пацијената дневно. Идеални број испитаника током петомесечног периода за примену Локомата је 30 уколико не дође до одустајања са терапија и повлачења из ове студије. У случају честих затварања установе због COVID- 19 позитивних, које ће стопирати интезивни третман у трајању од месец дана, истраживање ће имати карактер квази- експерименталне студије. Истраживање ће се обавити у вишемесечном периоду, до краја школске 2020/2021 године.

2.6.5. Етичка разматрања

Писана сагласност директора *Заједа организације за особе са посебним потребама* (ZHO for POD) за истраживачки део докторске дисертације под називом *Роботски потпомогнути тренинг хода код деце са церебралном парализом (Robotic Assisted Gait Traning in Cerebral Palsy*) је добијена првог септембра 2020.

Овај пројекат је део великог пројекта између рехабилитационо-образовне установе ZHO for POD и одељења физиотерапије *Фатима колеџа здравствене струке* (Fatima College of Health Sciences, FCHS). Нацрт пројекат под радним називом *Ефикасност роботски потпомогнутог тренинга хода и хидротерапије код особа са посебним потребама* (Efficacy of Robotic Assisted Gait Training and Hydrotherapy in People of Determination) упућена је Етичком одбору FCHS са свом потребном документацијом за добијање одобрења клиничког истраживања у установи ZHO for POD. Руководилац овог истраживања је проф. Др. Muhammad

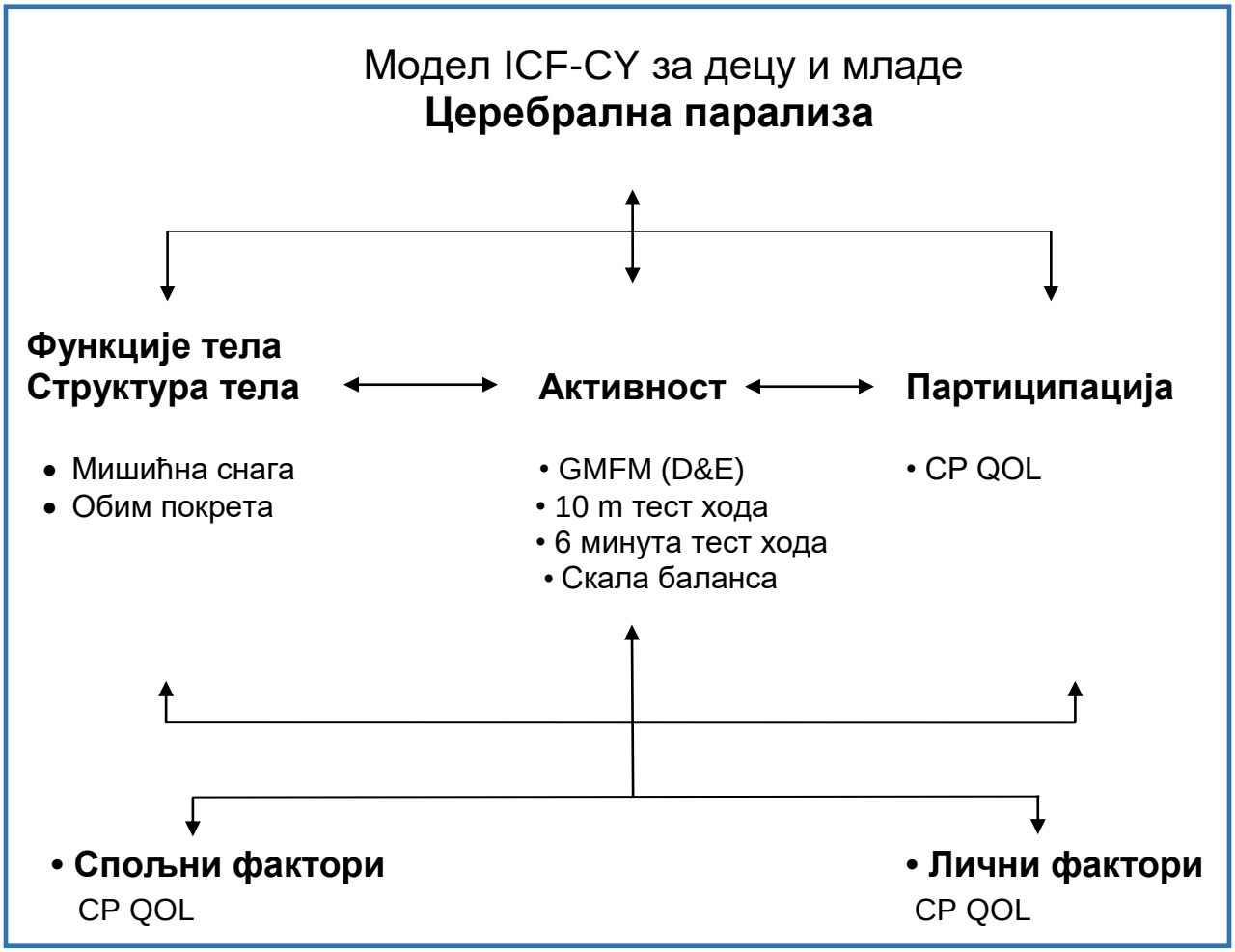
Al Jarrah, који је управник одељења Физиотерапије на FCHS а главни истраживач Драгана Ђурић. Етички одбор је дао писану сагласност за поменуто истраживање 20. септембра 2020 под бројем (INTSTF018PHY20).

Родитељи или неговатељи чија би деца била испитаници у овој студији добиће информације о начину истраживања и одговоре на сва своја питања и уколико су сагласни да њихово дете учествује у пројекту у обавези су да дају писани пристанак за учешће у овој студији својим потписом. Учешће деце је волентерско и родитељи имају право да се повуку из истраживања без давања објашњења у било ком тренутку док траје истраживање.

2.7. Инструменти процене и начини прикупљања података

Експериментална и контролна група биће тестиране пре почетка истраживања (иницијална евалуација) и након завршетка терапијских интервенција. Инструменти процене су изабрани како би покрили компоненте моторне процене према ICF-CY, (WHO, 2007) која представља концептуални оквир овог истраживања. Ово истраживање је усмерено на испитивање неуромускулоскелетних функција важних за извођење покрета ДЕ и категорију Мобилности из дела Активности, категорију Партиципације, према ICF-CY класификацији. Захваљујући овој класификацији данас се разматра функционална а не развојна перспектива детета. Узајамно дејство у оба смера указује на међузависност посебно првог дела класификације који се означава са Функционалност/Неспособност који процењује Телесне функције и структуру, Активности и Партиципацију. Функционална процена хода из домена Активности је у уској вези са могућностима процене социјалне партиципације, тако да инструменти процене из домена Активности такође могу бити посматрани као инструменти Партиципације, на пример побољшање резултата на тесту хода на 10 метара или на шестоминутни тест хода аутоматски ће побољшати кретање у породичном окружењу или школском окружењу и омогућити детету са ЦП бољу интеграцију са вршњацима. Процена ће обухватити инструменте процене телесних структура и функција али ће акценат бити на процени функционалности пацијената коришћењем инструмената процене које покривају компоненту

Активности и Партиципације према ICF класификацији. Инструменти процене за компоненту телесних функција и структура ће обухватати процену обима покрета, процену мишићне снаге, инструменти процене у компоненти Активности су тест грубе моторичке функције (GMFM) димензија Д и Е, тест хода од 10 метара којим се процењује брзина хода, шестоминузни тест хода којим се процењује издржљивост у ходу и Скала баланса. Компоненте Партиципације и Концептуални фактори (фактори окружења и лични фактори) биће испитани преко специјално дизајнираног упитника квалитета живота за децу и адолесценате са церебралном парализом (CP QOL). Потребна је комбинација инструмената процене јер ниједан инструмнет не може у потпуности репрезентовати све компоненте ICF-CY (Schiariti at all., 2014).



Слика 2: Преглед инструмената процене у овом истраживању према ICF-CY класификацији.

Експериментална и контролна група биће тестиране пре почетка истраживања и након завршетка терапијских интервенција користећи ове инструменте процене за обе групе испитаника.

- Мануални мишићни тест
- Обим покрета ДЕ
- GMFM 88 – димензија D & E
- 10 метара тест хода
- 6 мин тест хода
- Скала баланса за дечју популацију
- Упитник квалитета живота за децу са ЦП за узраст од 4–12 година и узраст 13–18 год. (CP QOL), у верзији упитника за родитеље / старатеље.

Класификациони систем грубих моторичких функција за церебралну парализу – Проширена и измењена верзија *(Gross Motor Function Classification System – Expanded and Revised, GMFCS–E&R,* Palisano at al.1997, 2008) је класификациони систем који описује ниво мобилности и способност за ход детета и адолесцената са ЦП. Класификација испитаника у овом истраживању према GMFCS биће полазна основа се селекцију учесника. У овом истраживању користиће се GMFCS у верзији 4-6 година, 6–12 година и 12–18 година. Постоје 5 нивоа функционалних могућности детета који процењују уобичајено дневно функционисање детета и ти нивои јасно показују разлике у моторичком функционисању у свакодневном животу. У верзији за децу узраста 6-12 година, самостални ход означава ниво I и II, ход уз помоћ помагала ниво III, кретање уз помоћ колица ниво IV и V. Ниво један подразумева ход без ограничења, ниво II ход уз ограничење, ниво III ход уз помоћ штапа, штака или ходалице, ниво IV означава особу која користи самостално колица за кретање или користи самостално колица на електрични погон, док ниво V означава особу која је у колицима и коју превози друга особа.

Мануални мишићни тест је намењен процени мишићне снаге у распону оцена од 0–5. Оцена 3 – уколико мишић може извести активни покрет у пуној амплитуди покрета против силе гравитације, оцена 4 уколико у истом положају против гравитације савлада и додатни средњи отпор и оцена 5 уколико савлада додатни максимални отпор. Оцена 2 означава могућност извођења покрета када је гравитација елиминисана, оцена 1 означава контракцију појединих влакана мишића, док оцена 0 означава немогућност контракције (Clarkson, 2012).

Обим покрета посебно покрета у куку, колену и скочном зглобу је важна процена код деце са ЦП када се разматра тренинг хода и може се мерити коришћењем угломера (Clarkson, 2012) или коришћењем опције на Локомату која је објективнија мера. Утицај спастицитета, бола, придружене мускулоскелетне промене утичу на смањење покретљивости у зглобовима код деце са ЦП. Смањење вредности обима покрета у периоду 2–14 година је нађено на свим испитиваним зглобовима ДЕ, а промене у обиму покрета зависе од типа и нивоа функционисања на GMFCS (Nordmark, 2009). Обим покрета се може мерити активно када пацијент изведе покрет и пасивно када је пацијент опуштен а друга особа изведе покрет. Пасивни обим покрета биће мерен у овом истраживању.
Локомат софтверски програм омогућава мерење спастицитета, мишићне снаге и обима појединих покрета ДЕ којима се добијају прецизнији и објективнији резултати али та мерења захтевају сарадњу пацијента. Уколико организационо – временске могућности установе у којој се истраживање врши и селекција пацијената испуне поменуте услове, прикупљање ових података ће се извршити преко Локомата.

Тест процене грубих моторичких функција (GMFM) је евалуативан тест за децу са ЦП намењен за праћење промена у грубој моторици током времена (Russell, 1989). GMFM не мери квалитет покрета, већ само ниво усвајање базичних моторних функција, тако да је циљ праћење промена грубих моторичких функција код деце са ЦП да би се установио ниво моторне функције и сходно томе поставили циљеви терапије. GMFM-66 је новијег датума (Avery, 2003) и користи компијутерски програм Gross Motor Ability Estimator (GMAE) за добијање резултата. У овом истраживању користеће се верзија GMFM-88 која се

примењује као стандардни инструмент процене у установи где ће истраживање бити обављено. GMFM је стандардизовани тест, поуздан и валидан. Доказано је да GMFM-88 и GMFM-66 детектују промене у грубој моторици током времена код ЦП деце (Alotaibi, 2013). GMFM-88 је такође клинички инструмент који је сензитиван за функционалне промене код деце која користе неко помагало за ход или ортозу за стопало (Russell, 2005). Свака димензија теста и финални резултат има прихватљив ниво апсолутне и релативне поузданости (Ko, 2013). GMFM се интезивно користи и у истраживачке сврхе када се прати интезивна моторичка интервенција (Josenby, 2009). У овом истраживању ће се тестирати функције у димензији Д која подразумева 13 функција у позицији стајања или довођења у позицију стајања и тестирање у димензији Е које подразумева 24 задатка везана за ход, трчање и скакање. Оцењивање функција је у распону од 0 до 3, где 0 означава немогућност извођења и започињања покрета, 1 интенцију да се покрет изврши, 2 делимично извођење и 3 комплетно извршен задатак. У великом броју радова на тему испитивања ефеката роботски потпомогнутог хода GMFM је веома чест интрумент процене посебно у димензијама стајања и хода (Schroeder, 2014, Meyer-Heim, 2015, Van Hedel, 2016, Hilderlay, 2016, Peri, 2017, Wu, 2017, Walard, 2017).

10 метара тест хода је функционални тест процене брзине хода који је због своје једноставности широко заступљен у клиничкој неуролошкој пракси одраслих и деце али и у истраживачким радовима. Овај тест мери најбржи ход детета на кратком растојању за децу нивоа I–III на GMFCS. 10 m тест хода је показао одличну интра и интер поузданост код одраслих особа са блажом формом ЦП (Bahrami, 2017).

6 минутни тест хода је функционални тест процене пређене дистанце током 6 мин. и представља евалуативни тест процене хода који је широко примењиван у рехабилитацији одраслих и деце. Овај тест је показао одличну поузданост код деце нивоа I–III на GMFCS (Thomson, 2008). Тест утврђивања брзине на 10 метара тесту хода и мерење пређеног растојања током 6 минута су функционални тестови веома коришћени приликом утврђивања ефеката Локомат тренинга (Smania, 2011, Meyer-Heim, 2015, Van Hedel, 2016, Hilderlay, 2016, Peri, 2017).

Скала баланса за дечју популацију (Paediatric Balanse Scale, PBS) је намењена школској популацији деце са блажом и средње тежом формом ЦП. Садржи 14 задатака а сваки се може вредновати у распону од 0-4 тако да је максимални скор постигнућа 56. Резултати на овом тесту се разликују у односу на ниво функционисања детета и може се сматрати једноставном, валидним тестом за испитивање функционалног капацитета баланса код деце са спастичном формом ЦП (Yi, 2012). Има добру поузданост за децу лакшег и средње тешког оштећења код деце школског узраста (Franjoine, 2003).

Упитник квалитета живота (CP QOL) је искључиво дизајниран за децу и омладину са ЦП. Развијен је Аустралији у интернационалној сарадњи клиничара и истраживача и на основу квалитативних интевјуа са децом са ЦП и њихових родитеља у циљу идентификације шта чини добар квалитет живота (Waters, 2005). Преведен је на преко 20 језика, одличних је психометриских карактеристика, валидација је показала примењивост у различитим културолошким срединама. Доступан је у електронској верзији која је публикована 2013 године. Постоји у неколико верзија за родитеље/старатеље за децу узраста 4–12 год., верзија за родитеље/старатеље тинејџера 13–18 година и у верзији за пацијенте са ЦП узраста 9–12 и 13–18 год. CP QOL има повољне психометриске особине у обе верзије за тинејџере са ЦП и у верзији коју попуњавају родитељи или неговатељи тинејџера (Davis 2013). У верзији за родитеље за децу узраста 4–12 год испитује 7 домена преко 65 питања укључујући и социјално прихватање, осећања у вези смањене функционалности и социјалне рестрикције, физичког здравља, присутности бола, емоционалног здравља, приступа сервисима подршке, осећања у вези неспособности и породичног здравља (Waters, 2006). Овај упитник обухвата питања из домена: породица, пријатељи, школа, учешће у активностима и социјалном животу, комуникација, здравље, специјална опрема и помагала, бол, доступност здравствених сервиса и услуга. Одговори се бодују оценом од 1–9. Неколико емпиријских студија је потврдило да не можемо функционисање пацијената поистоветити са квалитетом живота (Livingston, 2007) посебно у домену емоционалног и социјалног функционисања. Овај закључак је веома важан јер показује да пацијент који има значајно отежано функционисање може имати добар квалитет живота (Gilson, 2014). Одговори на питања о болу на CP

QOL показују значајну корелацију са нивоом функционисања детета али је запажено да има више вариација у одговорима када је у питању физички домен у односу на психолошко и социјално функционисање. Деца са ЦП оцењују виши ниво психосоцијалног функционисања иако су њихове функционалне могућности ниже (Hons, 2008). Овај упитник има за циљ да покаже како се дете осећа или како родитељи процењују утицај након роботски потпомогнутог тренинга хода на квалитет живота детета са ЦП. Обухватиће верзију упитника за родитеље.

У прегледу литературе роботски потпомогнутог тренинга хода није пронађен ни један рад који се фокусирао на испитивање квалитета живота деце са ЦП користећи CP QOL упитник, што ће представљати аутетичност у овом истраживању. Прикупљање података преко овог упитника ће бити обављено месец дана након завршетка истраживања, јер је родитељима потребно одређено време да перципирају утицај Локомат тренинга на могуће побољшање у свакодневном функционисању детета и утицај на побољшање квалитета живота.

Извршен је процес тестирања на поузданост, валидност и културолошку адаптираност у УАЕ за инструменте процене који захтевају валидацију а то су Тест процене грубих моторичких функција (GMFM) и Упитник квалитета живота за децу са ЦП (CP QOL).

2.8. Процедура

Испитаници су подељени у две групе, експериментална група, која ће поред традиционалног тренинга имати тренинг Локомата и контрола група, која ће имати само традиционални тренинг. Обе групе ће имати 20 тренинга. Због COVID-19 препорука и мера предострожности испитивање ће се вршити у петомесечном периоду. У првом месецу 6 испитаника експерименталне и 6 испитаника контролне групе биће тестирани свим инструментима процене, затим следи 20 третмана и завршно тестирање и прикупљање свих података. У другом месецу процес иницијалне процене за нових 6 испитаника, затим 20 третмана и завршно тестирање, у трећем месецу нових 6 испитаника експерименталне и 6 испитаника контролне групе, уз прикупљање свих података, и тако редом до последњег месеца истраживања, када ће сви испитаници проћи иницијалну

процену, третмане и завршну процену. У случају одсуствовања са третмана даће се могућност компензације пропуштених терапија непосредно по завршетку 20 терапија, тако да ће постојати неколико дана паузе између завршетка и почетка терапија за нових 6 испитаника. За упитник квалитета живота резултати ће бити добијени након месец дана по завршетку Локомат терапије да би родитељи могли да перципирају евентуалне промене у свакодневном животу детета са ЦП.

Контролна група

Традиционални тренинг ће подразумевати 5 терапија недељно у трајању од 40 мин. по протоколу направљеном за ово истраживање на основу препорука новијих научних студија описаних у 1.2.2. Предходна истраживања традиционалног тренинга ће подразумевати :

- Вежбе истезања спастичних мишића ДЕ у трајању од 30 секунди по мишићу у укупном трајању од 5 минута
- Вежбе јачања (статични бицикл, трицикл, функционални тренинг, вежбе против додатног отпора) у трајању од 20 минута
- Вежбе баланса на равној подлози и подлогама различите мекоће у трајању од 5 минута
- Вежбе хода (разбој, покретна трака, ход по равном, ход уназад) у трајању од 10 минута осим за децу нивоа IV на GMFCS код којих ће ход бити замењен стајањем.

Првих 6 испитаника ће имати тренинге током прве 4 недеље истраживања, затим нових 6 пацијената у наредне 4 недеље и тако редом до петог месеца истраживања.

Експериментална група

- Поред традиционалне терапије (5 терапија недељно у трајању од 40 мин., која ће подразумевати вежбе јачања, истезања, баланса и тренинга хода) пацијенти ове групе ће имати и додатних 5 терапија недељно Локомат тренинга у трајању од 40 мин. Могућност Локомата је за 6 третмана дневно, планирано да

30 испитаника буду подељени у пет група. Првих 6 испитаника ће имати тренинге током прве 4 недеље истраживања, затим других 6 испитаника у наредне 4 недеље и тако редом до петог месеца истраживања. Тренинг експерименталне групе укључује:

- 5 терапија недељно у трајању од 40 мин., која ће подразумевати вежбе истезања, јачања, баланса и тренинга хода по направљеном протоколу.

- 5 терапија Локомат тренинга недељно у трајању од 40 мин., у периоду од 4 недеље.

2.9. Статистичке мере

За обраду и анализу добијених података користиће се адекватне статистичке методе користећи unpaired T-test. Биће коришћена дескриптивна статистика и резултати ће бити приказани табеларно и графички за све инструменте процене упоређујући експерименталну и контролну групу.

2.10. Очекивани резултати

Корисност овог истраживања је вишеструка. Коришћењем знања и вештина истраживача са Фатима колеџа за здравствене студије и чланова тима Заједн органиизације за особе са посебним потребама утицаће се на поправљање клиничке праксе. Резултат ове студије ће помоћи у пружању најбољих услуга преко повезивања научних закључака из ове студије у практичној свакодневној примени Локомата у клиничком раду у овој установи и другим рехабилитационим центрима у УАЕ. Пацијенти који су укључени у ову студију имају корисност од терапијског протокола креираног од стране квалификованог истраживача за обе групе испитаника. Резултати ове студије ће бити публиковани.

2.11 . Научни допринос

У последњој деценији је порасло интересовање за истраживање ефеката роботски потпомогнутог тренинга хода јер примена Локомата у неуролошкој рехабилитацији заузима све више простора у развијеним земљама света. Један од разлога

истраживања је и потреба да се утврдити ефикасност ове терапије и са аспекта исплативости финансиског улагања. Резултати многобројних иностраних студија нису уједначени у погледу ефикасности Локомат интервенције. Ово ће бити још једна студија у низу које испитују ефикасност Локомат тренинга код деце са ЦП, прва студија објављена на нашем језику која је испитивала ефикасност роботски потпомогнутог хода и прва студија усмерена на испитивање квалитета живота пацијената са ЦП који су на интезивном Локомат третману у Абу Дабију.

ЛИТЕРАТУРА

Alotaibi, M., Long, T., Kennedy, E., Bavashi, S. (2013). The efficacy of GMFM-88 and GMFM-66 to detect changes in gross motor function in children with cerebral palsy (CP): a literature review, *Dysabity and rehabilit volume 36 2014 issue 8* ttps://doi.org/10.3109/09638288.2013.805820

Aurich-Schuler, T., Warken-Madelung, Birgit, Graser, J. V., Ulrich, T., Borggraefe, I., Heinen, F., Meyer-Heim, A., van Hedel, H., Schroeder, A., Sebastian (2015): Practical Recommendations for Robot-Assisted Treadmill Therapy (Lokomat) in Children with Cerebral Palsy: Indications, Goal Setting, and Clinical Implementation within the WHO-ICF Framework,*Neuropediatrics.46; (4):*248–260

Australian Cerebral Palsy Register Report (ACPR Group) (2013). Sydney: *Cerebral Palsy Alliance.*

Avery, L., Russel, D. J., Raina, P. S., Walter, S. D., Rosenbaum, P. L. (2003). Rash analyses of Gross Motor Function Measure: Validating the assumptions of Rash model to create an interval-level measure. *Archives of Physical Medicine & rehabilitation, 84,*697–705.

Bar-Haim, S., Harries, N., Belokopytov, M., Lahat, E., Kaplanski, J. (2008). Random perturbation: a potrntial aid in treatment of children with cerebral aplsy. *Disability Rehabilit.80.* 1420–1428.

Bahrami, F., Dehkordi, S, N., Dadgoo, M. (2017). Inter and intra rater reliability of the 10-meter walk test in the community dweller adults with spastic cerebral palsy. *Iran Journal Child Neurology, 11(1),* 57–64

Barbeau, H. (2003). Locomotor training in neurorehabilitation: emerging rehabilitation concept, *Neurorehabil. Neural repair, 17,* 3–11.

Bartlett, D. J., & Palisano, R. J. (2002). Physical therapists' perceptions of factors Influencing the acquisition of motor abilities of children with cerebral palsy: Implications for clinical reasoning. *Physical Therapy, 82*(3), 237–248.

Bayon, C., Raya, R., Lara, L. S., Ramirez, O., Serrano, I., Rocon, E. (2016). Robotic therapies for children with cerebral palsy: A systematic review, *Translational Biomedicine 7*(1):44

Beckung, E. at al. (2002). The natural history of gross motor development in children with cerebral palsy aged 5–15 years. *Developmental Medicine and Child Neurology, 49,* 751–756

Beveridge, B., Feltracco, D., Struyf, J., Strauss, E. (2014). "You gotta try it all": Parents' Experiences with Robotic Gait Training for their Children with Cerebral Palsy. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics, Early Online:* 1–15.

Bohannon, R., Smith, M. (1987). Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Physical Therapy 67(2):* 206.

Borggraefe, I., Kiwull, L., Schaffeer, J. S., Koerte, I., Blaschek, A., Meyer-Heim, A., Heinen, F. (2010). Sustainability of motor performance after robotic-assisted treadmill therapy in children: An open, non-randomized baseline- treatment study, *Eur J Phys Rehabil Med, vol 46* 1–7.

Borggraefe, I., Scaefer J. S., Klaiber, M., Dabrowski E., Ammann- Reiffer, C., Knecht, B. at al. (2010). Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy, *Europien Journal od Pediatric Neurology 14*(6), 496–502.

Calabro, R. S., Cacciola, A., Berte, F., Manuli. A., Leo, A., Bramanti, A., Naro, A., Milardi, D., Bramanti, P. at al. (2016). Robotic gait rehabilitation and substitution deveces in neurological disorders: where are we now? *Neurol Sci 37:*504–514.

Campbell, S., Palisano, R., Orlin, M. (2017). Physical Therapy for Children (5th ed.) *Missouri: Elsevier Saunders.*

Carlon, S., Shields, N., Yong, K., Gilmore, R., Sakzewski, L., Boyd, R. (2010). A systematic review of the psychometric properties of quality of life measures for school aged children with cerebral palsy. *BMC Pediatr*.;10:81.

Carvalho, I. S., Pinto, S. M., Chagas, D. D. V., Praxedes, Dos Santos, J. L., de Sousa Oliveira, Batista, L. A. (2017). Robotic Gait Training for Individuals With Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 98: 11*.2332–2344 https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.06.018

Caulton, J. M., Ward, K. A., Alsop, C. W., Dunn, G., Adams, J. E, Mughal, M. Z. (2004). A randomized controlled trial of standing programme on bone mineral density in non-ambulant children with cerebral palsy. Arch Dis. Child, 89, 131–135.

Chelsey, S., Edward, T., Drew, D., Tyler, R., Lynne, V. G., Angi, Gr., Gitendra, U. (2013): Structural Neuroplastic Change After Constraint-Induced Movement Therapy in Children With Cerebral Palsy, *Paediatric*, DOI: https://doi.org/10.1542/peds.2012-2051

Chen Y., Fanchiang H. D., Howard A. (2018). Effectivness of Virtual Reality in Children with Cerebral Palsy: A systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials, *Physical Therapy, Volume 98, Number 1*

Clarkson, H. M. (2012). Musculoskeletal assessment: Joint range of motion and manual muscle strength (3rd ed.). *Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins*.

Collado-Garrido, L., Parás-Bravo, P., Calvo-Martín, P., & Santibáñez-Margüello, M. (2019). Impact of Resistance Therapy on Motor Function in Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis. International journal of environmental research and public health, 16(22), 4513. doi: 10.3390/ijerph16224513

Cramer, C. S., Sur, M., Dobkin, B., O' Brien, C., Sanger, T., Trojanowski, J. at al. (2011). Harnessing neuroplasticity for clinical applications, *Brain – A Journal of Neurology, Volume 134, Issue 6,* 1591–1609.

Cramer SC, Riley JD (2008: Neuroplasticity and brain repair after stroke, *Curr Opin Neurol 21 (1);* 76–8.

Чобељић, Г. (2015). Церебрална парализа – Ортопедско лечење, *Медицински факултет, Универзитет у Београду.*

Davis, E., Mackinnon, A., Davern, M., Boyd, R., Bohanna, I, Waters, at al. (2013). Description and psychometric properties of the CP QOL-Teen: A quality of life questionnaire for adolescents with cerebral palsy, *Research in Developmental Disabilities Volume 34, Issue 1, Pages 344–352* https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.08.018

Damiano, D, L. (2006). Activity, activity, activity: rethinking our physical therapy approach to cerebral palsy. *Physical therapy*, 1534–1540

Duarte Nde, A., Grecco, L. A., Franco, R. C., Zanon, N., Oliveira, C. S. (2014). Correlation between pediatric balance scale and functional test in children with cerebral palsy. *J Phys Ther Sci 26(6):*849-53.

Davis, E., Mackinnon, A., Davern, M., Boyed, R., Bohanna, I., Waters, E. at al. (2013). Description and psychometric properties of the CP QOL-Teen: A quality of life questionnaire for adolescents with cerebral palsy, *Research in Developmental Disabilities Volume 34, Issue 1*, January 2013, Pages 344–352. doi: 10.1016/j.ridd.2012.08.018.

Dias, D., Lains, J., Pereira, A. at al. (2007). Can we improve gait skills in chronic hemiplegics? A randomized control trial with gait trainer, *Eura Medicophy, 43*, 499–504.

Druzbicki, M., Rusek, W., Snela, S., Dudek, J., Szczepanik, M., Zak, E. at al. (2013). Functional effect of robotic-assessed locomotor treadmill therapy in children with cerebral palsy, *Journal Rehabili Med, 45:* 358–363.

Dodd, K. J., Taylor, N. F., Damiano, D. L.(2002). A systematic review of the eectiveness of strength-training programs for people with cerebral palsy. Arch. Phys. Med. Rehabil.83 (8).1157–1164.

Druzbicki M., Rusek, W., Szcepanik M., Dudek J., Snela, S. (2010). Assessment of the impact of orthotic gait traning on balance in children with cerebral palsy. *Acta of Bioengineering and Biomechanics vol.12, No 3,* 53–58.

Edgerton, V. R., de Leon, R. D., Tillakaratne, N. at al. Use dependant plasticity in spinal stepping and standing, *Adv. Neurol. 72*, 233–247.

Elnahhas, A. M., Elshennawy, S., & Aly, M. G. (2018). Effects of backward gait training on balance, gross motor function, and gait in children with cerebral palsy: a systematic review. *Clinical Rehabilitation, 33(1),* 3–12. doi: 10.1177/0269215518790053

Esquenazi A., Talaty M. (2019). Robotics for Lower Limb Rehabilitation, *Phys Med Rehabil Clin N Am 30(2*): 385–397.

Fleck, S. J., & Kraemer, W. (2014). Designing Resistance Training Programs (4th ed.). *Champaign, IL: Human Kinetics.*

Franki, I., Desloovere, K., Cat, J., Feys, H., Molenaers, G., Calders, P., Broeck, C. (2012). The evidence-base for basic physical therapy techniques targeting lower limb function in children with cerebral palsy: A systematic review using the International Classification of Functioning, Disability and Health as a conceptual framework. *Journal of Rehabilitation Medicine*, *44*(5), 385–395. doi: 10.2340/16501977-0983

Franjoine, MR., Gunther, JS., Taylor, MJ (2003). Pediatric balance scale: a modified version of the Berg balance scale for the school-age child with mild to moderate motor impairments, *Pediat. Phys. Therapy* 15(2):114-28

Gajdosik, C. G., Cicirello, N. (2002). Secondary conditions of the musculoskeletal system in adoloescents and adult with cerebral palsy. *Physical and Occupation Therapy in Pediatrics, 21(4),* 49–68. https://doi.org/10.1080/J006v21n04_04

Gelder, V. L., Booth, T. C, de Port, I., Harlaar, B. J. H., der Krogt, M. (2017). Real-time feedback to improve gait in children with cerebral palsy, *Gaiit & Posture 52*, 76–82.

Gilson K. M., Davis, E., Reddihough, D., Graham, K., Waters, E. (2014). Quality of life in children with cerebral palsy: Implications for practice, *Journal of Child neurology, 1–7*

Gorton, Iii G. E., Stout, J. L., Bagley, A. M., Bevans, K., Novacheck, T. F., Tucker, C. A. (2011). Gillete funcionak assessment questionnaire 22-item skill set: factor and rash analyses. *Developmental Medicine & Child Neurology 53(3):* 250–255.

Guadagnoli, M. A., Lee, T. D. (2004). Challenge point; a framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning, *J Mot Behav. 36 :* 212–224.

Graham, H. K., Selber, P. (2003). Musculoskeletal aspect of cerebral palsy.*The Journal of bone and Joint Surgery,85-B, No2.,* 157–166. https://doi.org/10.1302/0301-620X.85B2.14066

Hadders-Alga, M. (2014). Early diagnosis and early intervention in cerebral palsy, *Front Neurol 5*:1–13.

Hanna, S. E., Rosenbaum, P. L., Bartlett, D. J. at al. (2009). Gross motor development curves for children and youth with cerebral Palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology, 51,* 295–302.

Hesse, S. (2001). Locomotor therapy in neurorehabilitation, *Neurorehabilitation, 16,* 133–139.

Hilderley, A. C., Fehlings D., Lee, G. W., Wright, F. V. (2016). Comparison of a robotic-assisted gait-training program with a program of functional gait traning for children with cerebral palsy: design and methods of a two-group randomized controlled crossover trial. *Springer Plus 5:1886*

Himmelmann, K., Panteliadis P. C. (2018). Cerebral palsy- a multidiscipline approach, In Panteliadis P. C., (Ed.), third edition, *Springer International Publisher* , 75–89.

Hirtz, D., Thurman, D., Gwinn-Hardy, K., Mohamed, M., Chaudhuri, A., & Zalutsky, R. (2007). How common are the "common" neurologic disorders? *Neurology, 68* (5), 326–337.

Hoon, A. H., Jr., & Tolley, F. (2013). Cerebral Palsy. In M. L. Batshaw, N. J. Roizen & G. R. Lotrechiano (Eds.), Children with Disabilities (7th ed., pp. 423–450). Baltimore, MD: *Paul H. Brookes Publishing.*

Илић, Н., (2017). Ефекат комбиноване примене неинвазивне кортикалне стимулације и моторног тренинга на хронични моторни дефицит руке након можданог удара – *докторска дисертација, Медицински факултет, Универзитет у Београду*.

Inguaggiato, E., Sqanddurra, G., Perazza, S., Guzzetta, A., Cioni, G. (2013). Brain Reorganisation following intervention in Children with Cognetital Hemiplegia: A systematic Review, *Neural Plast*icity, 1–8. *https://doi.org/10.1155/2013/356275*

Josenby, A. L., Gun-Britt, J., Gummesson, C., Nordmark, E. (2009). Longitudinal construct validity of the GMFM-88 total score and goal total score and the GMFM-66 score in a 5- year follow-up study. *Physical Therapy, 89,* 342–350.

Katušić, A. (2012). Cerebralna paraliza: redefiniranje i reklasifikacija. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja*; *48(1):* 117-26.

Kawamura, C. M., Filho, M. C., Barreto, M. M., Kyoko S. (2007). Compararison between visual and three- dimensional gait analysis in patients with spastic diplegic cerebral palsy. *Gait & Posture, 25,* 18–24. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.12.00

Keogh, J., Goldsmith, S., Badawi, N., Blair, E. (2013). A systematic review of risk factors for cerebral palsy in children born at term in developed countries. *Developmental Medicine & Child Neurology; 55(6):* 499–508.

Klobucka, S., Kovac, M., Ziakova, E., Klobucky, R. (2013). Effect of Robot-Assisted Treadmill training on Motor Functions depending on severity of Impairment in Patients with Bilateral Spastic cerebral *Palsy. Journal of rehabilitation Robotics, 1,* 71–81.

Ko, J., Kim, M. J., (2013). Reliability and Responsiveness of theGross Motor Function Measure-88 inChildren With Cerebral Palsy, *Physical therapy Volume 93 Number 3,* 393–400.

Koman, L. A., Smith, B. P., & Shilt, J. S. (2004). Cerebral palsy. *Lancet, 363(9421),* 1619–1631.

Костић, М. (2014). Роботски систем за вежбање и процену функционалности горњих ексремитета током рехабилитације особа после можданог удара, Докторска дисертација, Електротехнички факултет, Универзит у Београду.

Kragloh-Mann, I. at al. (2007). The role of magnetic resonance imaging in elucidating the pathogenesis of cerebral palsy: a systematic review, *Dev Med Child Neural 49:*144–151.

Lamberts, R. P., Burger, M., du Toit, J., Langerak, N. G. (2016). A Systematic Review of the Effects of Single-Event Multilevel Surgery on Gait Parameters in Children with Spastic Cerebral Palsy, *Pubmed, doi: 10.1371/journal.pone.0164686*

Law, M., Baum, C., Dunn, W. (2002). Evidence Based Rehabilitation: A Guide to practice, *Slack*: *New Jersey.*

Lee, GPS., Ng, GYF. (2008). Effects of stretching and heat treatment on hamstring extensibility in children with severe mental retardation and hypertonia. *Clinical rehabilitation,* 22, 771–779.

Lefmann, S., Russo, R., Hillier, S., (2017). The effectiveness of robotic-assisted gait training for paediatric gait disorders: systematic review, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation.*

Levac, D, Sveistrup, H. (2014). Motor learning and virtual reality. In: Weiss PL, Keshner EA, Levin MF, eds. Virtual Reality Technologies for Health and Clinical Applications: Virtual Reality for Physical and Motor Rehabilitation. *New York, NY: Springer:*22–45

Levangie, P. & Norkin, C. (2005). Joint structure and function: a comprehensive analysis (4th ed). Philadelphia*: F. A. Davis Company*

Levitt, S., Addison, A. (2019). Treatment of cerebral palsy and motor delay (6th ed.) *Oxford: John Wiley & Sons.* 1–24.

Liao, H. F., Liu, Y. C., Liu, W. Y., Lin, Y. T. (2007). Effectiveness of loaded sit to stand resistance exercise for children with mild spastic diplegia: a randomized clinical trial. *Arch Phys Med Rehabil 88*. 25–31.

Linsell L., Malouf R., Morris J., Kurinczuk J. J., Marlow, N. (2016). Prognostic factors for cerebral palsy and motor impairment in children born very preterm or very low birth weight: A systematic review. *Developmental Medicine & Child Neurology*: 58(6); 554–569.

Liptak, G. S. (2008). Health and well-being of adults with cerebral palsy. Current opinion in. *Neurology, 21*, 136–142.

List of Pediatric Assessment Tolls categorized by ICF model (2012). *Pediatric American Academy of Cerebral Palsy and Developmental Disability*

Livingston M. H, Rosenbaum P. L, Russell D. J, Palisano R. J. (2007). Quality of life among adolescents with cerebral palsy: what does the literaturetell us? *Dev Med Child Neurol.; 49:* 225–231.

Lokomat, Hocoma. *https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/modules/*

Lokomat Pro. (2017). Augmented Performance Feedback Supplement, *Hocoma AG*, 1-31.

Lollar, D. J., Simeonsson, R. J. (2005). Diagnosis to function: Classification of children and youth. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics, 26,* 323–330.

MacLennan, A. H. at al. (2015). Cerebral Palsy: causes, pathways and the role of genetic variants, *Am Journal Obstet Gynecol* 213:779–788.

(2018). Management of Cerebral Palsy in Children: A Guide For Allied Health Professionals, *NSW Government Health*, Australia.

Martin, L., Baker, R., & Harvey, A. (2010). A systematic review of common physiotherapy interventions in school-aged children with cerebral palsy, *Physical & Occupational therapy in Pediatrics, 30*(4), 294–312.

Mclntyre, S., Taitz, D., Keogh, J., Goldsmith, S., Badawi, N., Blair, E. (2013). A systematic review of risk factors for cerebral palsy in children born at term in developed countries. *Developmental Medicine & Child Neurology; 55(6):* 499–508.

McCormick A, Brien, M., Plourde, J., Wood, E., Rosenbaum, P., McLean, J. (2007). Stability of the Gross Motor Function Classification System in adults with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology, 4,* 265–269.

McIntyre, S., Morgan, C., Walker, K. et al. (2013). Cerebral palsy – Don't delay. *Dev Dis Res Rev.; 17:* 114–129.

Meyer-Heim, A., Van Hedel, H. J. A. (2013). Robot-assisted and computer-enhanced therapies for children with cerebral palsy: current state and clinical implementation. *Seminars in Pediatric Neurology 20(2),* 139–145.

Meyer-Heim, A., Ammann-Reiffer, A., Schmartz, A., Schafer, J., Sennhauser, F. H., Heinen at al. (2015). Improvenet of walking abilities after robotic-assisted locomotion training in children with cerebral palsy. *Arh Dis Chil 94.* 615–620

Moreau, N. G., Bodkin, A. W., Bjornson, K., Hobbs, A., Soileau, M., & Lahasky, K. (2016). Effectiveness of Rehabilitation Interventions to Improve Gait Speed in Children With Cerebral Palsy: Systematic Review and Meta-analysis. *Physical Therapy, 96(12),* 1938–1954. *doi: 10.2522/ptj.20150401*

Morgan, C., Novak, I., Badawi, N. (2013). Enriched environments and motor outcomes in cerebral palsy: systematic review and meta-analysis. *Pediatrics.132:* e735-e746

Nordmark, E., Hägglund, G., Jarnlo, G. B. (1997). Reliability of the gross motor function measure in cerebral palsy, *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine, 01 29(1):*25–28.

Nordmark, E., Hägglund, G., Pederson, H. l., P., Westbom, L.(2009). Development of lower limb range of motion from early childhood to adolescence in cerebral palsy: a population-based study. *BMC 7. 65.* doi:10.1186/1741-7015-7-65

Novak I., Hines M., Goldsmith, S. at al. (2012): Clinical prognostic messages from a systematic review on cerebral palsy 130: e1285-e1312.

Novak I., (2014): Evidence-Based Diagnosis, Health Care and Rehabilitation for Children with Cerebral Palsy. *Journal of Child Neurology 29 (8).*1141–1156.

Oskoui, M., Coutinho, F., Dykeman, J., Pringsheim, T. (2013). An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis, *Dev Med Child Neurol 55*: 509–519.

Palisano, R., Rosenbaum, P., Walter, S., Russell, D., Wood, E., Galuppi, B. (2008). Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology 39(4),* 214–223.

Palisano, R., Rosenbaum, P., Walter, S., Russell, D., Wood, E., & Galuppi, B. (1997). Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology, 39(4),* 214–223.

Patritti, B. P., Sicari, M., Deming, L., Romaguera, F., Pelliccio, M., Grazia. M. (2010). Enhancing robotic gait training via augmented feedback

Peri, E., Turconi, A. C., Biffi E., Maghini, C., Panzeri D., Morganti, R. at al. (2017). Effect of dose and duration on walking ability of children affected by cerebral palsy, *Technology and Health Care*, 1–11.

Preiss, R. A., Condie, D. N., Rowley, D. I., Graham H. K. (2003). The effects of botulinum toxin (BT-A) onspasticity of the lowe limb and on gait in cerebral palsy. *The Journal of Bone & Joint Surgery, Vol 85 –B, No 7*

Радовановић, Љ., Савић, А., Радивојевић, Д., Николић, С., Јекић, М., Јелић, С. (2000)..Учесталост и епидемиолошки параметри и рано откривање церебралне парализе и симпоматски церебрално угрожено дете. *Билтен, Специјална болница за церебралну парализу и развојну неурологију,* 64– 65.

Rais-Bahrami, K., & Short, B. L. (2013). Premature and Small-for-Dates Infants. In M. L.

Raskin, S.A. (Ed.). (2011). Neuroplasticity and Rehabilitation. New York, NY*: Guilford*

Ravi D. K, Kumar N., Singhi P., (2017). Efectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidence-based systematic review, *Physiotherapy 103(3,)* 245–258.

Rhimmer, J. H. (2001). Physical fitness levels of persons with cerebral palsy. *Dev. Med. Child Neurol. 43*, 208–212.

Rodda, J. M., Graham, H. K., Carlson, L., Galea, M. P., Wolfe, R. (2004). Sagittal gait pattern in spastic diplegia, *Journal of Bone& Joint Structure 86-B:251-8*

Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A. Goldstein, M., Bax, M., Damiano, D. at al. (2007). A report: the definition and classification of cerebral palsy, *Developmental Medicine & Child Neurology*, 109: 8–14.

Russell, J. D., Gorter J. W. (2005). Assessing functional differences in gross motor skills in children with cerebral palsy who use an ambulatory aid or orthoses: can the GMFM-88 help? *Develop. Med and Child Neurology Volume 47 issue 7*,462-467/ DOI: https://doi.org/10.1017/S0012162205000897

Russell, D., Rosenbaum, P., Cadman, D., Gowland, C., Hardly, S., Jarvis, S. (1989). The gross motor function measure: A means to evaluate the effects of physical therapy. *Developmental Medicine & Child Neurology, 31*, 341–352.

Samson, J. F., Sie, L. T. L., de Groot, L. (2002). Muscle power development in preterm infants in preterm infant with periventricular flaring of leukomalacia in relation to outcome at 18 months. *Developmental Medicine & Child Neurology, 44*, 734–740.

Sanger, T. D., at al. (2006). Definition and classification of negative motor signs in childhood, *Pediatrics 118;* 2159–2167.

Schiariti, V. A. F., Klassen, A., Cieza, K., Sauve, M., O'Donnell, R., Armstrong, L. C., Masse (2014). Comparing contents of outcome measures in cerebral palsy using the international classification of functioning (ICF-CY): A systematic review, *European Journal of Paediatric Neurology 18 (1)* 1–12.

Schroeder, A., Von Kries, R., Riedel, C., Homburg, M., Auffermann, H., Blaschek, A., Jahn, K., Heinen, F., Borggraefe, I., Berweck, S. (2014). Patient-specific determinants of responsiveness to robot-enhanced treadmill therapy in children and adolescents with cerebral palsy, *Dev Med and Child Neurol.56 (12),* 1172–1179.

Schroeder, A., Homburg, M., Warken, B., Auffermann, H. (2014). Prospective controlled cohort study to evaluate changes of function, activity and participation in patients with bilateral spastic cerebral palsy after Robot-enhanced repetitive treadmill therapy, *European Journal of Pediatric neurology 18(4)* 502–510.

Shelly Hons, A. S., Davis, E., Waters, E, Mackinnon, A., Reddihough, D., Boyd, R., Reid, S., Graham, H.K (2008). The relationship between quality of life and functioning for children with cerebral palsy, *Developmental Medicine & Child Neurology, 50: 199–203.* https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2008.02031

Smania, N., Bonetti, P., Gandolfi, M., Cosentino, A., Waldner, A., Hessa, S., Werner, C., Bisofi, G. at al. (2011): Improved gait after repetitive Locomotor training in children with cerebral palsy, *Phys Med Rehabilitation, 90 (2) 137-49, doi: 10.1097/PHM.0b013e318201741e.*

Smits, D., Hanna, S. E., Dallmeijer, A. J., Vos, R. C., van Eck, M., van Schie, P., et al. (2013). Longitudinal development of gross motor function among Dutch children and young adults with cerebral palsy: An investigation of motor growth curves. *Developmental Medicine and Child Neurology, 55(4),* 378–384.

Стевановић, С., (2002). Кинезиологија и примењена анатомија, *Штампарија д.о.о. Загорац*, Београд

Surveillance of cerebral palsy in Europe: a collaboration of cerebral palsy surveys and registers. (2000). *Development Medicine & Child Neurology* 42: 816–824.

Thompson, P., Beath, T., Bell, J., Jacobson, G., Phair, T., Salbach, N. M. (2008). Test-retest reliability of the 10 metre fast walktest and 6-minute walk test in ambulatory school-aged children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology, 50(5), 370-6*

Trivedi, R., Gupta, R. K., Shah, V. at al. (2008). Pediatric tretamnet-induced plasticity in cerebral palsy: a diffusion tensor imaging study. *Neurology 39,* 341–349.

Turner, D. L., Ramos-Murguialday, A., Birbaumer, N., Hoffmann, U., Luft, A. Neurophysiology of robot-mediated traning and therapy: A perspective for future use in clinical population. *Fron Neurol, 13 (4),* 184.

Van Hedel, Meyer-Heim, Rüsch-Bohtz (2015): Robot-assisted gait training might be beneficial for more severely affected children with cerebral palsy, *Dev Neurorehabil, 19(6)* 410–415.

Vinson, J., Shank, L., Thomas, P., Warschausky, S. (2010). Self-generated domains of quality of life in children with and without cerebral palsy. *J Dev Phys Disabil*. 22: 497–508.

Waters, E., Maher, E., Salmon, L., Reddihough, D., Boyd, R. Development of a condition-specific measure of quality of life for children with cerebral palsy: empirical thematic data reported by parents and children. *Child. 2005;31:* 127–135.

Waters, E., Davis, E., Reddihough, D., (2006). Reliability and validity of the cerebral palsy qulity of life questionnaire for children (CP QOL- Child), *Neuropediatrics 37 (S1),* DOI: 10.1055/s-2006-945567

Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y., Bredin, J. (2017). Robotic-assisted gait training improves walking abilities in diplegic children with cerebral palsy. Eur J Paediatr Neurol 21(3):557–564

Wallard, L., Dietrich, G., Kerlizin, Y., Bredin, J. (2018). Effect of robotic-assisted gait rehabilitation on dynamic equilibrium control in the gate of children with cerebral palsy. *Elsevier, Gait & Posture* 60, 55–60.

Weiss, P. L., Rand, D., Katz, N., Kizoni, R., (2004). Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool, *Journal Neuroengen Rehabilitation 1:* 12–24.

Wimalasundera, N., & Stevenson, V. (2016). Cerebral Palsy. *Practical Neurology, 0*, 1–11.

Winchester, P., Querry, R. (2006). Robotic orthoses for body weight-supported treadmill training, *Phys Med Rehabil Clin N Am17*, 159–172.

Wingstran, M., Hagglund, G., Bousquet, E.R. (2014). Ankle-foot orthoses in children with cerebral palsy: a cross sectional population-based study of 2200 children, *BMC Musculosketal disorders, 15:327 http://www.biomedcentral.com/1471-2474/15/327*

World Health Organization (2001). International classification of function, disability, and health. *Geneva. World Health Organization.*

World Health Organization (2002). Towards a common Language for Functioning, Disability and Health. *Geneva. World Health Organization.*

World Health Organization (2007). International classification of function, disability, and health- children and youth version *Geneva. World Health Organization.*

Wu, M., Kim, J., Arora, P., Gaebler-Spira, D., Zhang, Y. (2017). Effect of the integration of dynamic weight shifting training into treadmill training on walking function of children with cerebral palsy. *American Journal of physical Medicine& Rehabilitation, Volume 96, Number 11*.

Wulf, G., Lewthwaite, R. (2016). Optimazing performance throw intrinsic motivation and attention for learning; The OPTIMAL theory of motor learnoing, *Psychon Bull rev.23:* 1382–1414.

Yi, SH., Hwang, J. H., Kim, S.J., Kwon J. Y. (2012). Validity of pediatric balance scales in children with spastic cerebral palsy, *Neutopediatrics,* 43(06): 307-313.

Zak, E., (2010). A practical guide for use LOKOMAt in children- monograph, *Wydanie,* 3-67.