

TARTU ÜLIKOOL
sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Triinu Rooni

**Kõnnirobotteraapia mõju tserebraalparalüüsiga lapse jämemotoorsele
võimekusele: juhtumiuuring**

**Effect of robotic-assisted gait therapy on gross motor function in a child with
cerebral palsy: a case study**

Magistritöö

füsioteraapia õppekava

Juhendajad:

Laste füsioteraapia assistent, MSc M. Mets

Füsioterapeut, MSc M. Burov

Tartu, 2022

SISUKORD

KASUTATUD LÜHENDID	4
LÜHIÜLEVAADE	5
ABSTRACT	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	7
1.1. Tserebraalparalüüs	7
1.2. Tserebraalparalüüsiga laste taastusravi	8
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	12
3. METOODIKA	13
3.1. Vaatlusalused	13
3.2. Uuringu korraldus	14
3.3. Antropomeetrilised mõõtmised	14
3.4. Kõnnifunktsiooni hindamine	14
3.4.1. Kuue minuti kõnnitest	14
3.4.2. Kümne meetri kõnnitest	14
3.4.3. PODOSmart® liikumisanalüüs	15
3.5. Jämemotoorsete funktsioonide hindamine	16
3.6. Posturaalse stabiilsuse hindamine	16
3.6.1. Ühel jalal seismise test	16
3.6.2. Tyromotion TYMO® tasakaaluplatvorm	16
3.7. Sekkumismeetodid	17
3.7.1. Kõnnirobotteraapia	17
3.7.2. Füsioteraapia	18
3.8. Andmete statistiline töötlus	18
4. TÖÖ TULEMUSED	19
4.1. Kõnnifunktsioon	19
4.1.1. Vastupidavus ja maksimaalne kõnnikiirus	19
4.1.2. Vabalt valitud kõnnikiirus ja sammusagedus	19
4.2. Jämemotoorne võimekus	21
4.3. Posturaalne stabiilsus	21
4.4. Kõnnirobotteraapia parameetrid	23
5. ARUTELU	24
5.1. Sekkumiste mõju kõnnifunktsioonile	24
5.1.1. Vastupidavus	24

5.1.2. Kõnnikiirus	25
5.2. Sekkumiste mõju jämemotoorsele võimekusele	27
5.3. Sekkumiste mõju posturaalsele stabiilsusele	28
5.4. Uuringu tugevused ja piirangud	30
6. JÄRELDUSED	32
KASUTATUD KIRJANDUS	33
LIHTLITSENTS	38

KASUTATUD LÜHENDID

6MWT	kuue minuti kõnnitest, ingl <i>Six-Minute Walk Test</i>
10MWT	kümne meetri kõnnitest, ingl <i>Ten Meter Walk Test</i>
FT	vaatlusalune, kes sai sekkumisena füsioteraapiat
GMFCS	jämemotoorsete funktsioonide klassifikatsioonisüsteem, ingl <i>Gross Motor Function Classification System</i>
GMFM-66	jämemotoorsete funktsioonide hindamise test, ingl <i>Gross Motor Function Measure-66</i>
PCI	tserebraalparalüüs, ld <i>paralysis cerebralis infantilis</i>
RO	vaatlusalune, kes sai sekkumisena kõnnirobotteraapiat

LÜHIÜLEVAADE

Eesmärk: Hinnata ning võrrelda kõnnirobotteraapia ja füsioteraapia mõju tserebraalparalüüsi (PCI) spastilise dipleegia diagnoosiga laste jämemotoorsele võimekusele.

Metoodika: Vaatlusalusteks olid kaks PCI spastilise dipleegia diagnoosiga last (vanus 9 ja 10 aastat, *Gross Motor Function Classification System*'i (GMFCS) järgi PCI I raskusaste). Üks uuritav (RO) sai nelja nädala jooksul sekkumisena kõnnirobotteraapiat ning teine uuritav (FT) samas mahus füsioteraapiat. Vaatlusaluste jämemotoorseid oskusi, kõnnifunktsiooni ning posturaalset stabiilsust hinnati kahel korral: enne ja pärast neljanädalast sekkumist.

Tulemused: Neljanädalase kõnnirobotteraapia järel suurenes märkimisväärselt RO kõnnivastupidavus, muudes kõnnifunktsiooni aspektides tähelepanuväärseid muutusi ei toimunud. Seevastu neljanädalase füsioteraapia järel suurenes märkimisväärselt FT vabalt valitud kõnnikiirus ning vähenes sammusagedus. Kummagi uuritava jämemotoorsete funktsioonide hindamise testi (GMFM-66) tulemustes mainimisväärseid muutusi ei ilmnenud. Posturaalse stabiilsuse näitajates esines rohkem märkimisväärseid muutusi füsioteraapiat saanud lapsel: suurenes ühel jalal seismise testi tulemus ning vähenes kõikumise trajektoori kogupikkus kõikidel mõõdetud tingimustel. RO puhul viitas posturaalse stabiilsuse arengule vaid pehmel pinnal seismisel mõõdetud kõikumise trajektoori kogupikkuse vähenemine.

Kokkuvõte: Käesoleva juhtumiuuringu põhjal on neljanädalane füsioteraapia PCI spastilise dipleegia kergeima raskusastmega laste kõnnifunktsiooni ja posturaalse stabiilsuse arendamisel mõjusam kui neljanädalane kõnnirobotteraapia. GMFM-66 tulemustele ei olnud märkimisväärsel mõju kummalgi sekkumisel. Üldistatavate järelduste tegemiseks on vajalikud edasised suurema homogeense valimiga uuringud, mis keskenduksid kõnnirobotteraapia mõju uurimisele.

Märksõnad: tserebraalparalüüs, kõnnirobotteraapia, jämemotoorne võimekus, kõnnifunktsioon, posturaalne stabiilsus

ABSTRACT

Aim: To assess and compare the effect of robotic-assisted gait therapy and physiotherapy on the gross motor function in children with spastic diplegic cerebral palsy (PCI).

Methods: Two children with spastic diplegic cerebral palsy (age 9–10 years, Gross Motor Function Classification System (GMFCS) level I) were included in this study. One of the children (RO) received four weeks of robotic-assisted gait therapy, while the other (FT) received the same amount of conventional physiotherapy. Subjects' gross motor function, gait function, and postural stability were assessed before and after the four-week intervention period.

Results: After four weeks of robotic-assisted gait therapy, RO's walking endurance was remarkably increased, while other aspects of gait function did not improve considerably. Notable improvements following four weeks of physiotherapy were an increase in FT's self-selected walking speed and a decrease in cadence. Neither subject showed noteworthy changes in Gross Motor Function Measure–66 (GMFM-66) scores. Considering outcomes of postural stability, more remarkable changes were observed after physiotherapy (an increase in Single Leg Stance Test and a decrease in total sway distance under all measured conditions). Following robotic-assisted gait therapy, the only characteristic that indicated improvement in postural stability was a decrease in total sway distance on a soft surface.

Conclusions: According to this case study, a four-week physiotherapy intervention is more effective than a four-week robotic-assisted gait therapy in improving gait and postural stability in children with the mildest severity of spastic diplegic PCI. However, neither intervention has a remarkable effect on GMFM-66 results. Further research should focus on assessing the effects of robotic-assisted gait training on larger homogeneous samples.

Keywords: cerebral palsy, robotic-assisted gait therapy, gross motor function, gait, postural stability

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Tserebraalparalüüs

Eestis kasutusel oleva definitsiooni järgi on tserebraalparalüüs (ld *paralysis cereбрalis infantilis*, PCI) mitteprogresseeruv motoorikahäire, mis on põhjustatud ante- või perinataalses perioodis tekkinud hüpoksilis-isheemilisest ja/või hemorraagilisest ajukahjustusest (Eesti Haigekassa, 2007). Tegutsemispiiranguid võivad põhjustada diagnoosist tulenevad liikumis- ja asendihäired, ent sageli esineb kõrvalekaldeid ka sensoorikas, kognitiivses arengus, kõnes ja tajus. Samuti võib ilmnedä käitumishäireid ning epilepsiat (Baxter *et al.*, 2007). PCI üldine esinemissagedus on 2,1 juhtu 1000 elussünni kohta, ent enneaegsete laste seas on see märkimisväärselt suurem, olles näiteks enne 28. gestatsiooninädalat sündinud laste puhul 111,8 juhtu 1000 elussünni kohta (Oskoui *et al.*, 2013).

PCI-d klassifitseeritakse erinevate tunnuste alusel. Levinud on jaotus vormide (spastilised vormid, hüpotoonilis-ataktiline vorm, düskineetilised vormid) ning raskusastmete (kerge, keskmine, raske) järgi (Eesti Haigekassa, 2007). Kõige sagedamini esineb PCI spastilisi vorme (Bar-On *et al.*, 2015), mida eristatakse omakorda jäsemete haaratuse alusel hemi-, di- ja tetrapleegiaks (Eesti Haigekassa, 2007). Nende vormide puhul on üheks peamiseks sümptomiks lihaste spastilisus. Spastilisus on ülemise motoneuroni kahjustusest tingitud sensomotoorse kontrolli häirumine, mida iseloomustab kiirus-sõltuv lihastoonuse tõus vastusena venitusreflekside elavnemisele. Spastilisusest tulenev tahtmatu lihasaktivatsioon pärsib liigutuslikku kontrolli, suurendab liikumisel energiakulu ning põhjustab lihas- ja liigeskontrakture, mõjutades olulisel määral motoorset võimekust (Bar-On *et al.*, 2015). Patel *et al.* (2020) väitel on levinuim spastilise PCI vorm dipleegia, mis esineb 35% PCI diagnoosiga lastest. Spastilise dipleegia puhul avaldub funktsioonihäire mõlema kehapoole üla- või alajäsemetes (Eesti Haigekassa, 2007).

PCI raskusastmete määratlemiseks kasutatakse ka jämemotoorsete funktsioonide klassifikatsioonisüsteemi (ingl *Gross Motor Function Classification System*, GMFCS). Raskusastmeid eristatakse funktsionaalsete piirangute ja abivahendite vajaduse alusel, vähesel määral hinnatakse ka liigutuste kvaliteeti. Vanusele ja võimetele vastavalt määratakse raskusaste I–V. I tase märgib kõige väiksemat funktsioonilangust – laps on võimeline iseseisvalt kõndima, jooksuma ja hüppama, kuid kiirus, tasakaal ja koordineatsioon on piiratud; V tase märgib raskeimat seisundit – lapsel puudub iseseisev liikumisvõime ning ta sõltub täielikult kõrvalabist (Palisano *et al.*, 2008).

Olenemata GMFCS tasemest on motoorne võimekus langenud kõigil PCI diagnoosiga lastel, sh on väga levinud kõnnifunktsiooni häirumine. Üks märkimisväärsmaid

kõnnifunktsiooni pärssivaid tegureid on langenud posturaalne stabiilsus (Woollacott & Shumway-Cook, 2005), mis on tervete eakaaslastega võrreldes oluliselt madalam (Rose *et al.*, 2002). Madala posturaalse stabiilsuse põhjuseks tuuakse kesknärvisüsteemi, sensoorse süsteemi ja skeletilihassüsteemi vahelise koostöö häirumist, mistõttu esineb ka lihaste aktivatsiooni- ja koordinatsioonihäireid (näiteks kontraktsiooni hilistumine ja ajastuse häirumine, agonist- ja antagonistlihaste kokontraktsioon). Lisaks kõnnifunktsiooni langusele kaasneb posturaalse stabiilsuse häirumisega liigutusliku kontrolli ja sujuvuse vähenemine. Samuti on leitud korrelatsioone funktsionaalsete piirangute tekke ja posturaalse stabiilsuse vahel (Woollacott & Shumway-Cook, 2005). Madalamast motoorsest võimekusest tingitud piirangud vähendavad laste iseseisvust ja igapäevategevustega toimetulekut, raskendades nii iseseisvat liikumist, enesehooldust kui sotsiaalset osalust (Østensjø *et al.*, 2004). Motoorse võimekuse parandamiseks ning tegevusvõime suurendamiseks on üheks peamiseks rakendatavaks meetmeks taastusravi.

1.2. Tserebraalparalüüsiga laste taastusravi

PCI diagnoosiga laste taastusravi peamine eesmärk on jämemotoorsete oskuste arendamine (Aisen *et al.*, 2011). Spetsiifilisemalt on sagedaseks eesmärgiks kõnnifunktsiooni soodustamine: kõnnimustri ja -kvaliteedi parandamine, liikumisel suurema iseseisvuse saavutamine ja posturaalse stabiilsuse tõstmine (Beretta *et al.*, 2020; Woollacott & Shumway-Cook, 2005). Novak *et al.* (2020) süstemaatilises ülevaates on nenditud, et kuigi PCI diagnoosiga laste taastusravi on tõendus põhine, patsiendikeskne ning lähtub lapse individuaalsetest eesmärkidest, on kliinilises praktikas rakendatavate sekkumiste tõhusus ja toime küllaltki erinev. Ülevaate põhjal on motoorse võimekuse arendamiseks efektiivsed eelkõige eesmärgistatud aktiivsed funktsionaalsed tegevused, mis pakuvad lapsele liigutuslikku variatiivsust ja eduelamusi. Tõhusad füsioterapeutilised sekkumised sisaldavad veel ka jõuharjutusi, staatilise ja dünaamilise tasakaalu arendamist ning funktsionaalset kõnnitreeningut (Beretta *et al.*, 2020). Oluline on, et füsioterapias kasutatavad harjutused ja tegevused oleksid vastavuses füsioterapeutilise hindamise põhjal seatud eesmärkidega. Kuigi ka üldine füsioterapeutiline sekkumine ja treening on mitmes aspektis arendavad, annab nii jämemotoorsete oskuste kui kõnnifunktsiooni parandamisel märkimisväärselt paremaid tulemusi spetsiifiliste eesmärkidega individuaalne sekkumine (Van den Broeck *et al.*, 2010).

Seoses tehnoloogia arenguga kasutatakse PCI diagnoosiga laste terapeutilises sekkumises üha enam ka robotilisi seadmeid, mille efekt põhineb muuhulgas neuroplastilisusel (Aisen *et al.*, 2011; Drużbicki *et al.*, 2013): korduvad tegevusspetsiifilised

harjutused stimuleerivad kesknärvisüsteemi ning kutsuvad esile närvivõrgustiku reorganiseerumist (Johnston, 2009). Üheks taastusravis levinud robotiliseks vahendiks on kõnnirobot, mis annab võimaluse kogeda korduvat terviklikku kõnnitsükli oluliselt suuremal määral kui terapeudi poolt assisteeritud kõnnitreening (Mehrholtz *et al.*, 2020). Kõnniroboti kasutamist ajukahjustusega laste arendusravis on uuritud vähe ning kvaliteetsete uuringutulemuste hulk on limiteeritud, ent arvatakse, et selle mõju võib olla sarnane insuldijärgse kõnnirobotteraapia tulemustega (Aisen *et al.*, 2011). Nimelt on leitud, et täiskasvanute insuldijärgsel kõnnifunktsiooni arendamisel on kombinatsioon füsioteraapiast ja kõnnirobotteraapiast efektiivsem kui ainult füsioteraapia (Mehrholtz *et al.*, 2020). Samas tulenevalt täiskasvanute ja laste erisustest ei saa täiskasvanute ravitulemusi siiski lastele otse üle kanda (Aisen *et al.*, 2011).

Siiani tehtud uuringute andmetel parandab kõnnirobotteraapia PCI diagnoosiga laste üldist motoorset võimekust, aga ka kõnnifunktsiooni (Beretta *et al.*, 2020; Borggraefe *et al.*, 2010; Klobucká *et al.*, 2013; Lefmann *et al.*, 2017; Wallard *et al.*, 2018) ning posturaalset stabiilsust (Družbicki *et al.*, 2010; Nikityuk *et al.*, 2016). Robotteraapiate lisaväärtusena on välja toodud võimalust muuta teraapia interaktiivsete mängude abil kaasahaaravamaks (Aisen *et al.*, 2011). Teraapia kaasahaaravus on PCI diagnoosiga laste puhul eriti oluline, kuna on leitud, et nad on väljakutsuvates olukordades vähem motiveeritud ning madalam sisemine motivatsioon pärsib nende motoorset sooritust ja osalust teraapias (Majnemer *et al.*, 2010). Teraapiavahendi interaktiivsus võimaldab teraapias osalemise motivatsiooni tõsta (Aisen *et al.*, 2011).

Kaasaegse tehnoloogia kasutamine teraapiates on atraktiivne ka lapsevanemate jaoks. Sageli on iseseisev ja võimalikult normipärane kõndimine PCI diagnoosiga laste vanemate silmis üks tähtsamaid eesmärke, mistõttu on lapse kõnnirobotil korrektse kõnnimustriga liikumine nende jaoks oluline ja tuleviku suhtes lootustandev (Beveridge *et al.*, 2014). Kuigi kõnnirobotteraapia on aina populaarsust koguv meetod, on seni avaldatud uuringute tulemustes vastuolusid seoses selle mõjuga erinevatele PCI raskusastmetele ja vormidele (Beretta *et al.*, 2020; Borggraefe *et al.*, 2010; Klobucká *et al.*, 2013; Lefmann *et al.*, 2017; Schroeder *et al.*, 2014) ning puudub ühtne arvamus, kas see on sama efektiivne kui füsioteraapia.

Kõnnirobotteraapiat on varasemalt avaldatud uuringutes rakendatud valdavalt kombineerituna teiste sekkumistega. Beretta *et al.* (2020) uuringus paranes PCI diagnoosiga uuritavatel 20 kõnnirobotteraapia ning 20 füsioteraapiaseansi koosmõjul 6 minuti kõnnitesti (6MWT) tulemus, ent jämemotoorsete funktsioonide tasemes muutust ei olnud. Sarnast

sekkumist kasutasid ka Druzbicki *et al.* (2013), kelle tulemustest ilmnes, et pärast neljanädalast kombineeritud sekkumist eksperimentaalgrupi kõnni ajalisi-ruumilised parameetrid ei muutunud. Samas ka kontrollgrupil, kes sai ainult füsioteraapiat, jäid tulemused muutumatuks. Teisalt on leitud, et kõnnirobotteraapia kombineerituna individuaalse füsioteraapiaga arendab GMFCS II–III taseme PCI diagnoosiga laste posturaalset stabiilsust nii avatud kui suletud silmadega seismisel (Druzbicki *et al.*, 2010). Posturaalset stabiilsust eraldi näitajana on käsitletud harva: sageli on seda hinnatud üldistatult jämemotoorsete funktsioonide hindamise testi (ingl *Gross Motor Function Measurement–66*, GMFM-66) D alaosa (seismine) tulemuste kaudu. Posturaalne stabiilsus on aga PCI puhul oluline näitaja, mis on seotud kõnnifunktsiooni, liigutusliku kontrolli ja funktsionaalse võimekusega (Woollacott & Shumway-Cook, 2005).

Kõnnirobotteraapia eraldiseisva sekkumisena arendab Schroeder *et al.* (2014) põhjal spastilise dipleegiaga lastel jämemotoorset võimekust nii statistiliselt kui kliiniliselt olulisel määral, seejuures muutus on suurem kergemate PCI raskusastmete korral. Kõnnikiirus ega -vastupidavus ei paranenud antud uuringu tulemuste põhjal märkimisväärselt ühelgi raskusastmel. Borggraefe *et al.* (2010) jõudsid kõnnirobotteraapia mõju ja PCI raskusastme vahelise seose osas sarnase järelduseni, leides, et GMFM-66 testi D ja E alaosa (seismine ning kõndimine, jooksmine ja hüppamine) tulemused paranesid suuremal määral GMFCS I ja II raskusastmega uuritavatel. Klobucká *et al.* (2013) aga täheldasid, et kuigi kõnnirobotteraapia mõjul GMFCS I ja II raskusastmega laste jämemotoorne võimekus paranes, ei olnud muutused statistiliselt olulised. Ka Ammann-Reiffer *et al.* (2020) on leidnud, et kõnnirobotteraapial eraldiseisva sekkumisena ei ole PCI diagnoosiga laste kõnnifunktsioonile statistiliselt ega kliiniliselt olulist efekti.

Käesoleva magistritöö autori arvates on oluline välja selgitada, kas kõnnirobotteraapia iseseisva teraapiana võiks olla PCI diagnoosiga laste jämemotoorse võimekuse, sh kõnnifunktsiooni ja posturaalse stabiilsuse arendamiseks sobiv sekkumisviis ning kui tulemuslik on see võrreldes füsioteraapiaga. Eelkõige on vajalik uurida kõnnirobotteraapia mõju spetsiifilisemalt määratletud gruppidele, kuna senised ebaühtlased uurimistulemused võivad olla tingitud ka valimite heterogeensusest (Lefmann *et al.*, 2017). Üheks sagedaseks heterogeensust tingivaks tunnuseks on vanus – uuringutesse on kaasatud väga lai vanusegrupp. Kuigi PCI-d iseloomustab mitteprogresseeruv ajukahjustus ja püsiv motoorikahäire (Baxter *et al.*, 2007), esineb erinevates arenguetappides siiski teatavaid jämemotoorsete oskuste taseme erisusi ja muutusi: GMFM-66 tulemuste alusel on leitud, et areng on kiireim noorematel lastel, puberteedieast alates on täheldatud taseme langust (Kerr *et al.*, 2011).

Teine kitsaskoht, mis seniste uuringute puhul selgete järelduste tegemist pärsib, on erineva PCI raskusastme ja vormiga laste kaasatus. Sageli on uuringutes rakendatud üht sekkumist lastele, kelle GMFCS tase ja sümptomaatika on väga varieeruv, mistõttu on tulemused üldistatud ega anna kliinilises praktikas rakendamiseks täpsemaid suunitlusi (Ammann-Reiffer *et al.*, 2020; Beretta *et al.*, 2020; Borggraefe *et al.*, 2010; Klobucká *et al.*, 2013; Schroeder *et al.*, 2014).

Kõnnirobotteraapia on aina aktuaalsem ka Eestis. Magistritöö autori andmetel on hetkel Eestis kasutuses neli Lokomat® (Hocoma AG, Volketswil, Šveits) kõnnirobotit. Autorile teadaolevalt ei ole kõnnirobotteraapia mõju PCI diagnoosiga Eesti laste motoorsele võimekusele uuritud.

Käesolev töö on üles ehitatud kahele juhtumiuuringule, kus keskendutakse kindlale PCI alavormile ja raskusastmele. Kõnnirobotteraapia ja füsioteraapia sekkumiste mõju võrdlemine sama diagnoosi ja sarnase sümptomaatikaga laste puhul annab aimdust vastavate sekkumiste potentsiaalsest toimest ning infot ja tagasisidet nii lapsevanematele kui terapeutidele, näidates suunda PCI diagnoosiga laste taastusraviks ja edaspidisteks uurimistöödeks.

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Uurimistöö eesmärk oli hinnata ning võrrelda kõnnirobotteraapia ja füsioteraapia mõju PCI spastilise dipleegia diagnoosiga laste jämemotoorsele võimekusele.

Vastavalt töö eesmärgile olid püstitatud järgmised uurimisülesanded:

1. Hinnata neljanädalase kõnnirobotteraapia mõju jämemotoorsele võimekusele, sh kõnnifunktsioonile ja posturaalse stabiilsuse näitajatele.
2. Hinnata neljanädalase füsioteraapia mõju jämemotoorsele võimekusele, sh kõnnifunktsioonile ja posturaalse stabiilsuse näitajatele.
3. Võrrelda neljanädalase kõnnirobotteraapia ja neljanädalase füsioteraapia toimet eelpool nimetatud näitajatele.

3. METOODIKA

3.1. Vaatlusalused

Uuringus osales kaks PCI spastilise dipleegia diagnoosiga last vanuses 9 ja 10 aastat, kellest üks (RO) sai sekkumisena neli nädalat kõnnirobotteraapiat ja teine (FT) neli nädalat füsioteraapiat. Mõlema uuritava motoorne funktsioon oli GMFCS tase I. Vaatlusaluste antropomeetrilised näitajad on esitatud Tabelis 1.

Uuringusse kaasati Tartu Ülikooli Kliinikumi Lastekliiniku patsiendid, kellel oli kehtiv suunamiskiri füsioteraapiateenuse saamiseks ning soov osaleda nelja nädala jooksul kolm korda nädalas kõnnirobotteraapias või füsioteraapias. Uuringusse kaasamise kriteeriumiteks olid võimekus vähemalt 30 sekundit iseseisvalt seista ning piisav kognitiivne tase, mis võimaldaks adekvaatset hindamisel ja sekkumisel osalemist. Valimi homogeensuse tagamiseks kaasati uuringusse sarnases vanuses ning sama PCI alavormi ja raskusastmega lapsed. Uuringusse ei kaasatud lapsi, kellel oli vastunäidustusi kõnnirobotteraapiale või füsioteraapiale ning kes olid viimase kolme kuu jooksul saanud medikamentooset antispastilist või kirurgilist ravi. Samuti ei tohtinud uuritavatel olla muid diagnoose, mis võinuks hindamistulemusi või sekkumiste efektiivsust mõjutada.

Enne uuringus osalemist selgitati vaatlusalustele ja nende vanematele kogu uurimisprotsessi. Uuringuga tutvumise järel täitsid ning allkirjastasid laps ja lapsevanem „Informeerimise ja teadliku nõusoleku vormi“, kinnitamaks teadlikkust uuringu korraldusest ning vabatahtlikku uuringus osalemist. Uuring on kooskõlastatud Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komiteega (protokoll number 333/T-8, 18.01.2021).

Tabel 1. Vaatlusaluste antropomeetrilised näitajad.

Tunnus	RO	FT
Vanus (a)	9	10
Kehapikkus (cm)	147	146,5
Kehamass (kg)	41,6	34,1
Vasaku/parema jalalaba pikkus (cm)	23/22,5	23/23

RO – vaatlusalune, kes sai sekkumisena kõnnirobotteraapiat;

FT – vaatlusalune, kes sai sekkumisena füsioteraapiat.

3.2. Uuringu korraldus

Uuringu käigus viidi läbi alghindamine, sekkumine ja lõpphindamine. Alghindamine toimus kolm päeva enne teraapiaprotsessi algust, lõpphindamine kaks kuni kolm päeva pärast viimast teraapiat. Ühe hindamise ajakulu oli ligikaudu 75 minutit. Kõik hindamised ning füsioteraapiaseansid toimusid Tartu Ülikooli Kliinikumi Lastekliinikus (Nikolai Lunini 6, 50406, Tartu), kõnnirobotteraapia Tartu Ülikooli Kliinikumi Spordimeditiini- ja taastusravi kliinikus (Ludvig Puusepa 6, 50406, Tartu).

3.3. Antropomeetrilised mõõtmised

Mõõdeti vaatlusaluste pikkus, kehamass ja jalalaba pikkus. Kehapikkus vertikaalasendis mõõdeti seinale kinnitatud antropomeetriga (täpsus $\pm 0,1$ cm). Uuritavate kehamass mõõdeti minimaalses sportlikus rõivastuses elektroonilise meditsiinilise kaaluga (täpsus $\pm 0,1$ kg). Jalalaba pikkus mõõdeti mõõdulindiga (täpsus $\pm 0,1$ cm).

3.4. Kõnnifunktsiooni hindamine

Vaatlusaluste kõnnifunktsiooni hinnati kuue minuti kõnnitesti (6MWT), kümne meetri kõnnitesti (10MWT) ning PODOSmart® (Digitsole SAS, Nancy, Prantsusmaa) liikumisanalüüsi süsteemiga. Kõigi kõnnifunktsiooni hindavate testide ajal kandsid vaatlusalused oma tavapäraseid spordijalanõusid. Ortooside ega muude abivahendite kasutamine ei olnud lubatud.

3.4.1. Kuue minuti kõnnitest

6MWT on sobilik ja usaldusväärne hindamismeetod iseseisvalt kõndivate PCI diagnoosiga laste funktsionaalse võimekuse ja vastupidavuse hindamiseks (Thompson *et al.*, 2008). Testi kasutatakse laialdaselt nii kliinilises praktikas kui teadusuuringutes.

6MWT läbiviimiseks asetati pika koridori põrandale kaks tooli, mille vaheline distants oli 30 meetrit. Lapsel paluti kõndida kuue minuti jooksul ümber kahe tooli nii palju ringe kui võimalik. Kõnnitempo oli uuritava poolt vabalt valitud, jooksmine oli keelatud. Puhkepausid olid lubatud, kuid nende vältel ajavõttu ei peatatud. Testi sooritamise ajal ergutati last verbaalselt. Tulemusena fikseeriti kuue minuti jooksul läbitud vahemaa meetrites.

3.4.2. Kümne meetri kõnnitest

10MWT võimaldab hinnata maksimaalset kõnnikiirust lühikese vahemaa läbimisel. Antud test on kõnnirobotteraapia mõju käsitlevates uuringutes koos 6MWT-ga üks levinumatest kõnnifunktsiooni hindamise meetoditest (Lefmann *et al.*, 2017).

10MWT läbiviimiseks märgiti põrandale jooned tähistamaks algust, 2 meetri, 8 meetri ning 10 meetri distantssi. Uuritaval paluti läbida 10 meetrit, kõndides võimalikult kiiresti. Jooksmine oli keelatud. Laps seisis stardijoone taga ning alustas kõndimist vabalt valitud ajal. Hindaja registreeris stopperiga 2 meetri ja 8 meetri joonte vahelise distantssi läbimise aja. Kaks meetrit vahemaa algusest ja lõpust arvestati kiirendamiseks ja aeglustamiseks.

3.4.3. PODOSmart® liikumisanalüüs

Uuritavate vabalt valitud kõnnikiiruse ning sammusageduse hindamiseks kasutati PODOSmart® liikumisanalüüsi (Joonis 1), mis on hiljutiste teadusartiklite kohaselt valiidne ja usaldusväärne vahend kõnnianalüüsi teostamiseks (Loukovitis *et al.*, 2021; Ziagkas *et al.*, 2021). PODOSmart® süsteemi sisetaldades olevad sensorid tuvastavad jalgade liikumismustri, võimaldades mõõta kõnni ruumilisi, ajalisi ja kinemaatilisi parameetreid. Kuna PODOSmart® sisetallad on juhtmevabad, saab need paigutada uuritava isiklikesse jalanõudesse. See võimaldab analüüsida võimalikult loomulikku kõndi erinevates keskkondades (Ziagkas *et al.*, 2021).

Liikumisanalüüsi teostamiseks pandi vaatlusaluse spordijalanõude sisse spetsiaalsed sensoritega PODOSmart® sisetallad. Uuritaval paluti ühetasapinnalises koridoris ühe minuti jooksul tavapäraselt kõndida. Seejärel seisis uuritav ligikaudu ühe minuti paigal, mille jooksul toimus juhtmevaba andmeedastus sensoritelt PODOSmart® tarkvarale.



Joonis 1. PODOSmart® liikumisanalüüsi süsteem (Ziagkas *et al.*, 2021).

3.5. Jämemotoorsete funktsioonide hindamine

GMFM-66 on nii kliinilises praktikas kui ka teadustöodes laialdaselt kasutatud ja tunnustatud test, mis võimaldab hinnata PCI diagnoosiga laste jämemotoorset võimekust ja seda mõjutavate sekkumiste tulemuslikkust (Alotaibi *et al.*, 2014). Ka kõnnirobotteraapiat ja füsioteraapiat käsitletud uuringutes on teraapia tulemuslikkuse ja jämemotoorsete oskuste arengu hindamiseks GMFM-66 testi sageli kasutatud (Ammann-Reiffer *et al.*, 2020; Beretta *et al.*, 2020; Borggraefe *et al.*, 2010; Klobucká *et al.*, 2013; Schroeder *et al.*, 2014).

Käesolevas uuringus hinnati vaatlusaluste jämemotoorseid funktsioone GMFM-66 testi kolme alaosa abil: C – toengpõlvituses liikumine ja põlvitamine; D – seismine; E – kõndimine, jooksmine ja hüppamine. GMFM-66 C, D ja E alaosa läbiviimisel paluti uuritaval sooritada 51 erinevat tegevust. Vajadusel näidati tegevused ette ja paluti seejärel järgi teha. Sooritusvõimet hinnati skaalal 0–3, kus 0 – ei soorita liigutust; 1 – algatab liigutuse; 2 – sooritab liigutuse osaliselt; 3 – sooritab liigutuse täielikult. Uuringus kasutatud testi täisversioon on leitav GMFM-66 manuaalist (Russell *et al.*, 2021).

3.6. Posturaalse stabiilsuse hindamine

Vaatlusaluste posturaalset stabiilsust hinnati ühel jalal seismise testi ning Tyromotion süsteemi TYMO® (Tyromotion GmbH, Graz, Austria) tasakaaluplatvormi abil.

3.6.1. Ühel jalal seismise test

Ühel jalal seismise test on PCI diagnoosiga laste posturaalse stabiilsuse hindamiseks usaldusväärne ja laialt kasutatud meetod (Liao *et al.*, 2001), mida on mugav ning lihtne kasutada ka kliinilises praktikas. Ühel jalal seismise testi käigus paluti lapsel seista ühel jalal ning mõõdeti aeg, mille jooksul ta tasakaalu säilitada suutis. Testi tehti nii vasakul kui paremal jalal. Aja mõõtmine lõpetati juhul, kui laps toetas maha mittetestitava jala või kui toejala asend põrandal muutus. Maksimaalseks testi tulemuseks loeti 60 sekundit. Uuritavad olid testi sooritamisel jalanõudeta.

3.6.2. Tyromotion TYMO® tasakaaluplatvorm

Tyromotion on rehabilitatsioonivahendite süsteem, mis sisaldab robootilisi ning sensoritel põhinevaid seadmeid, mida saab kasutada nii füsioterapeutiliseks hindamiseks kui terapeutiliseks sekkumiseks. Tyromotion TYMO® tasakaaluplatvorm (Joonis 2) võimaldab mõõta platvormile avaldatava surve amplituudi ja jaotumist nii kõval kui pehmel pinnal seistes (Tyromotion, 2015). Tasakaaluplatvormi abil saab hinnata posturaalse stabiilsuse näitajaid, millest sagedamini analüüsitakse keha survetsentri nihkeid. PCI diagnoosiga laste puhul

võimaldab posturograafia muuhulgas hinnata ka sekkumiste tulemuslikkust (Lopes & David, 2013).

Käesolevas uurimistöös paluti uuritaval posturaalse stabiilsuse hindamiseks seista põrandale asetatud Tyromotion TYMO® tasakaaluplatvormil. Mõõtmise ajal oli vaatlusalune jalanõudeta. Posturaalse stabiilsuse näitajaid hinnati 30 sekundi vältel nii avatud kui suletud silmadega ning kõval ja pehmel pinnal. Tyromotion TYMO® tasakaaluplatvormi poolt mõõdetud näitajatest analüüsiti käesolevas magistris töös kõikumise trajektoori kogupikkust.



Joonis 2. Tyromotion TYMO® tasakaaluplatvorm (Tyromotion, 2022).

3.7. Sekkumismeetodid

Loosi tõmbamise tulemusel sai üks uuritav (RO) sekkumisena nelja nädala jooksul kolm korda nädalas kõnnirobotteraapiat ning teine uuritav (FT) sama ajaperioodi vältel kolm korda nädalas individuaalset füsioteraapiat. Kumbki uuritav sai kokku 12 teraapiaseansi. Nii kõnnirobotteraapia- kui füsioteraapiaseansi kestus oli 45 minutit.

3.7.1. Kõnnirobotteraapia

Kõnnirobotteraapiat teostati Lokomat®Pro kõnnirobotil (Hocoma AG, Volketswil, Šveits). Kõnnirobotteraapiat viis läbi vastava väljaõppega füsioterapeut, teda assisteeris

magistritöö autor. Sekkumine toimus neljal järjestikusel nädalal sagedusega kolm korda nädalas.

Uuringuperioodi ajal sai uuritav ainult kõnnirobotteraapiat, teised füsioterapeutilised sekkumised peatati. Üks teraapiaseanss kestis 45 minutit, millest 30 minutit oli aktiivset kõnnirobotteraapiat, ülejäänud aega kasutati ettevalmistavateks (sh kõnniroboti seadistamine, ortooside paigutamine, uuritava asendi kohandamine) ning lõpetavateks tegevusteks (sh uuritava vabastamine ortoosidest). Kuna uurimistöö autorile teadaolevalt ei ole PCI diagnoosiga lastele spetsiifilisi kõnnirobotteraapia juhiseid välja töötatud, tuginati teraapiaperioodi pikkuse ja sageduse valimisel varasematele uuringutele (Ammann-Reiffer *et al.*, 2020; Borggraefe *et al.*, 2010; Klobucká *et al.*, 2013), samuti võeti arvesse eeldatavaid uuritavate ja lapsevanemate teraapias osalemise võimalusi ja piiranguid. Kõnnirobotteraapia parameetrid (kõnnikiirus, kehamassi toetus, robotipoolse juhendamise määr) valiti vastavalt uuritava võimekusele ning kohandati teraapiaperioodi vältel.

3.7.2. Füsioteraapia

Füsioteraapiaseansid viidi läbi sobivalt sisustatud teraapiaruumis. Füsioteraapia toimus neljal järjestikusel nädalal sagedusega kolm korda nädalas. Uuringuperioodi ajal sai uuritav ainult füsioteraapiat, uuringuvälised füsioterapeutilised sekkumised peatati. Üks füsioteraapiaseanss kestis 45 minutit ja teraapiat viis läbi uurimistöö autor.

Füsioterapeutiline sekkumine tugines teaduskirjandusel, uuritava hindamistulemustel ning nende põhjal seatud eesmärkidel. Füsioteraapias kasutatavad teraapiameetodid valiti suunitlusega arendada lapse jämemotoorset võimekust, sh kõnnifunktsiooni ja posturaalset stabiilsust. Sekkumisel kasutati kõnnitreeningut, jõuharjutusi, tasakaaluharjutusi ning liigesliikuvus- ja venitusharjutusi.

3.8. Andmete statistiline töötlus

Uuringu andmete statistiline töötlus tehti tabelarvutustarkvara Microsoft® Excel® Microsoft 365 abil. Mõlema uuritava mõõtmistulemuste puhul leiti enne ja pärast sekkumist mõõdetud tulemuste vahe ning muutuse protsentuaalne väärtus.

10MWT käigus mõõdeti stopperiga distantssi läbimise aeg. Kõnnikiiruse arvutamiseks leiti distantssi ja aja jagatis.

GMFM-66 testi alaosade protsentuaalsete tulemuste arvutamiseks jagati vastavas testi alaosas sooritusele vastavate punktide summa selle alaosa maksimaalse võimaliku tulemusega. Tulemuste arvutamiseks kasutatud valem on leitav GMFM-66 manuaalist (Russell *et al.*, 2021).

4. TÖÖ TULEMUSED

4.1. Kõnnifunktsioon

4.1.1. Vastupidavus ja maksimaalne kõnnikiirus

Vaatlusaluste vastupidavuse hindamiseks kasutatud 6MWT tulemus oli RO-l pärast kõnnirobotteraapiat 46 meetrit suurem kui enne teraapiat. FT tulemus seevastu oli pärast füsioteraapiat 51 meetri võrra vähenenud.

10MWT tulemuste põhjal oli RO maksimaalne kõnnikiirus pärast sekkumist 0,14 m/s võrra suurenenud. FT maksimaalne kõnnikiirus oli sekkumise järel samuti suurenenud, vastavalt 0,2 m/s võrra. Vaatlusaluste 6MWT ning 10MWT tulemused enne ja pärast sekkumist on toodud Tabelis 2.

Tabel 2. Kuue minuti kõnnitesti (6MWT) ning kümne minuti kõnnitesti (10MWT) tulemused enne ja pärast neljanädalast sekkumist.

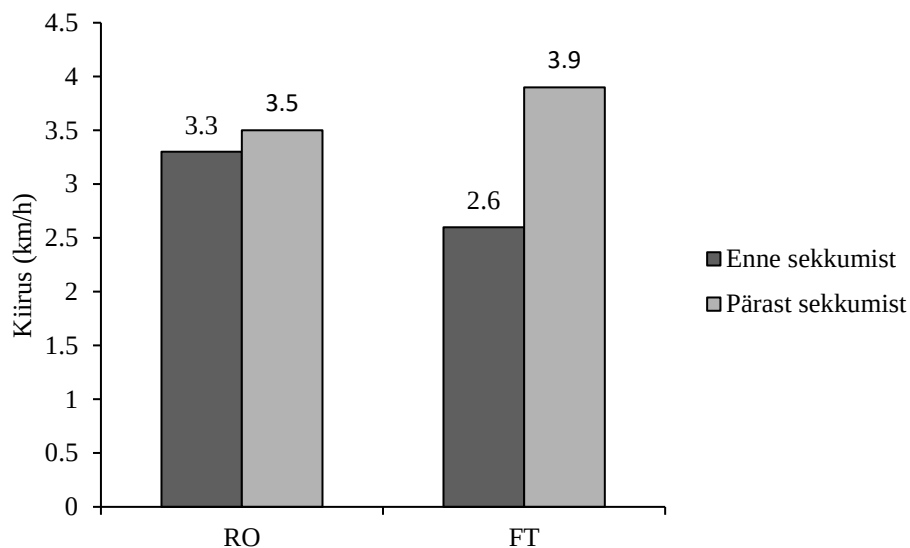
Vaatlusalune	Enne		Pärast	
	RO	FT	RO	FT
6MWT (m)	434	501	470	450
10MWT (m/s)	1,62	1,3	1,76	1,5

RO – vaatlusalune, kes sai sekkumisena kõnnirobotteraapiat;

FT – vaatlusalune, kes sai sekkumisena füsioteraapiat.

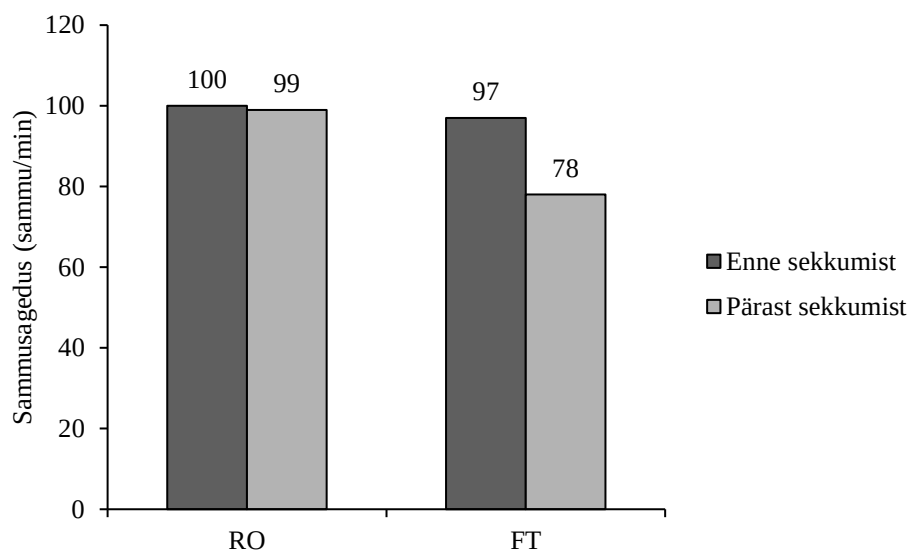
4.1.2. Vabalt valitud kõnnikiirus ja sammusagedus

PODOSmart® liikumisanalüüsi abil hinnati vaatlusaluste vabalt valitud kõnnikiirust ja sammusagedust. RO vabalt valitud kõnnikiirus oli pärast kõnnirobotteraapiat suurenenud 0,2 km/h võrra ja FT-l pärast füsioteraapiat 1,3 km/h võrra. Vaatlusaluste vabalt valitud kõnnikiirus on toodud Joonisel 3.



Joonis 3. Vabalt valitud kõnnikiirus kõnnirobotteraapiat saanud vaatlusalusel (RO) ja füsioteraapiat saanud vaatlusalusel (FT) enne ja pärast neljanädalast sekkumist.

Kõnnirobotteraapiat saanud uuritava sammusageduses märkimisväärsed muutusi ei toimunud, ent füsioteraapiakuuri läbinud uuritava sammusagedus oli pärast sekkumist 19 sammu/min madalam kui enne sekkumist. Vaatlusaluste kõnni sammusagedus on esitatud Joonisel 4.



Joonis 4. Sammused kõnnirobotteraapiat saanud vaatlusalusel (RO) ja füsioteraapiat saanud vaatlusalusel (FT) enne ja pärast neljanädalast sekkumist.

4.2. Jämemotoorne võimekus

Jämemotoorse võimekuse hindamiseks kasutatud GMFM-66 testi C-, D- ja E-alaosade tulemused on esitatud Tabelis 3. Testi C- ja D-alaosade tulemused olid mõlemal uuritaval nii enne kui pärast sekkumist püsivad. E-alaosa skoor suurenes RO-l pärast kõnnirobotteraapiat ühe punkti võrra, FT tulemus oli seevastu pärast füsioteraapiat ühe punkti võrra vähenenud.

Tabel 3. Jämemotoorsete funktsioonide hindamise testi (GMFM-66) C-, D- ja E-alaosade tulemused enne ja pärast neljanädalast sekkumist.

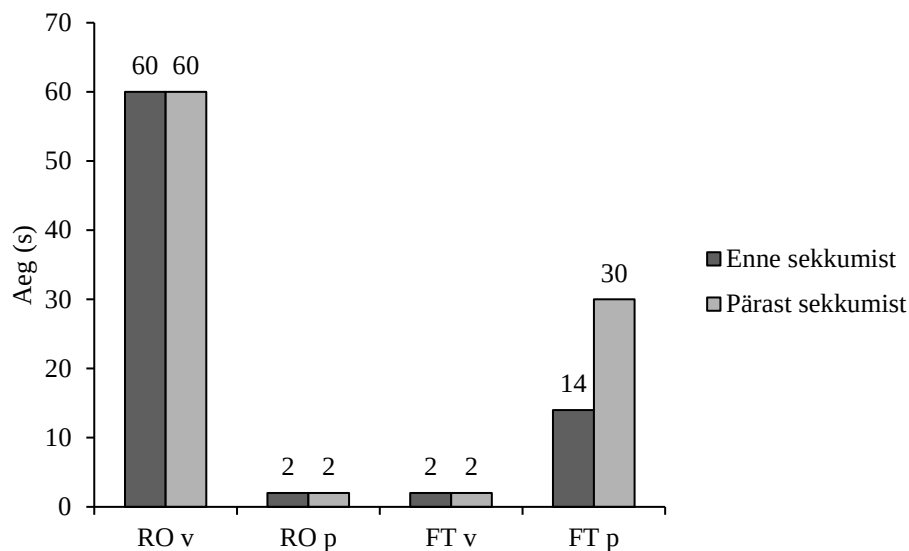
Vaatlusalune	Enne		Pärast	
	RO	FT	RO	FT
C (%)	100	100	100	100
D (%)	94,9	94,9	94,9	94,9
E (%)	94,4	95,8	95,8	94,4

RO – vaatlusalune, kes sai sekkumisena kõnnirobotteraapiat;

FT – vaatlusalune, kes sai sekkumisena füsioteraapiat.

4.3. Posturaalne stabiilsus

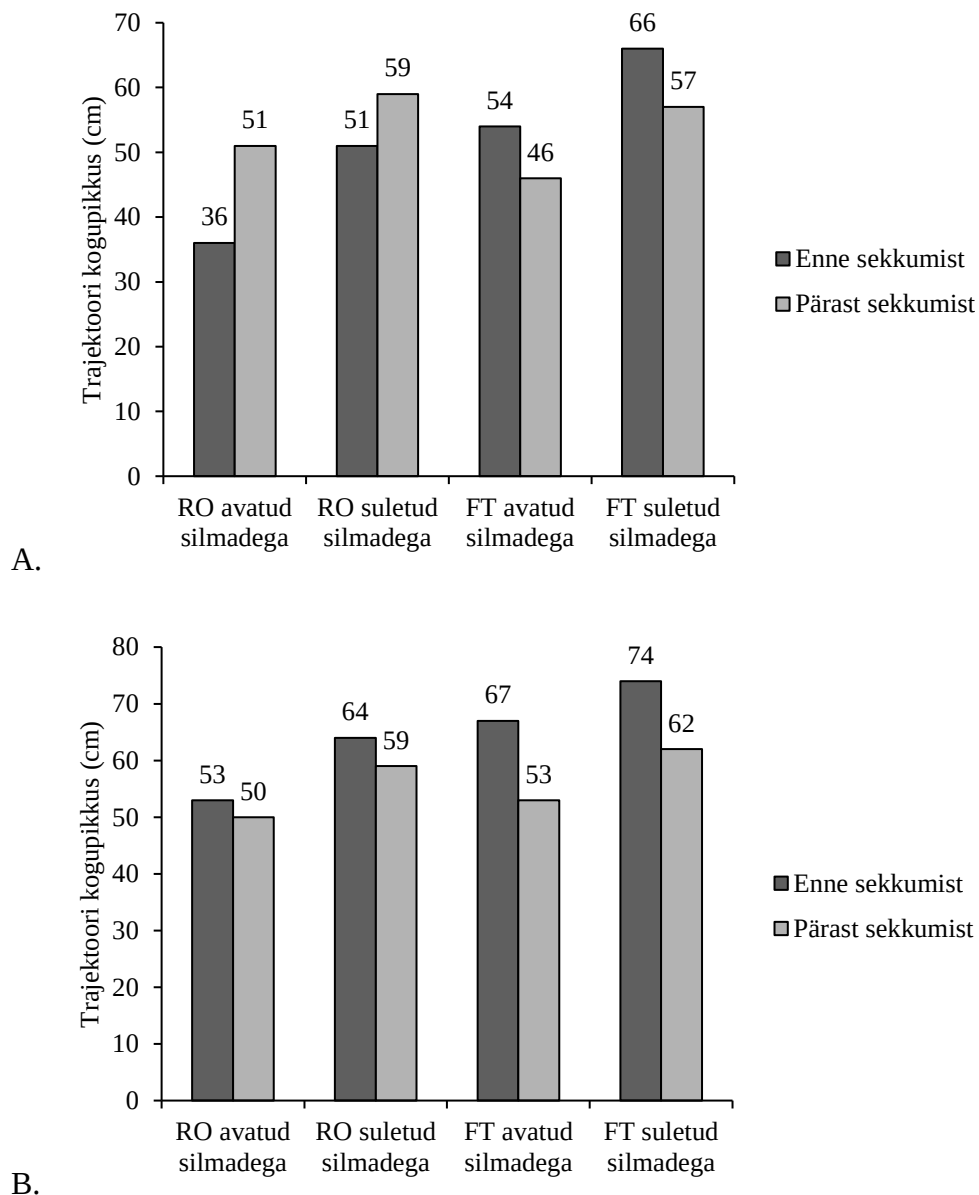
Vaatlusaluste posturaalset stabiilsust hinnati ühel jalal seismise testi ning Tyromotion TYMO® tasakaaluplatvormiga. Ühel jalal seismise testi tulemused on toodud Joonisel 5. Testi tulemus püsis RO-l enne ja pärast kõnnirobotteraapiat muutumatuna. FT tulemus vasakul jalal oli samuti enne ja pärast füsioteraapiat sama, kuid paremal jalal seismise tulemus oli pärast sekkumist 16 sekundi võrra suurem kui enne sekkumist.



Joonis 5. Ühel jalal seismise testi tulemused vasakul (v) ning paremal (p) jalal kõnnirobotteraapiat saanud vaatlusalusel (RO) ja füsioteraapiat saanud vaatlusalusel (FT) enne ja pärast neljanädalast sekkumist.

Tyromotion TYMO® tasakaaluplatvormil 30 sekundi jooksul mõõdetud kõikumise trajektoori kogupikkus enne ja pärast sekkumist on toodud Joonisel 6. RO kõikumise trajektoori kogupikkus kõval pinnal seismisel oli pärast kõnnirobotteraapiat suurenenud nii avatud kui suletud silmadega, vastavalt 15 cm ja 8 cm võrra. FT-l aga oli pärast füsioteraapiat kõval pinnal seismisel kõikumise trajektoori kogupikkus mõlemal juhul vähenenud: avatud silmadega oli tulemus 8 cm võrra ning suletud silmadega 9 cm võrra väiksem kui enne sekkumist.

Pehmel pinnal seismisel RO kõikumise trajektoori kogupikkus pärast sekkumist vähenes, vastavalt avatud silmadega 3 cm võrra ning suletud silmadega 5 cm võrra. Samuti vähenesid FT pehmel pinnal seismise tulemused: pärast sekkumist oli FT kõikumise trajektoori kogupikkus avatud silmadega 14 cm võrra ning suletud silmadega 12 cm võrra vähenenud.



Joonis 6. 30 sekundi jooksul mõõdetud kõikumise trajektoori kogupikkus kõnnirobotteraapiat saanud vaatlusalusel (RO) ja füsioteraapiat saanud vaatlusalusel (FT) enne ja pärast neljanädalast sekkumist kõval pinnal seismisel (A) ja pehmel pinnal seismisel (B).

4.4. Kõnnirobotteraapia parameetrid

Ühe kõnnirobotteraapia seansi käigus läbitud distants oli keskmiselt 963 meetrit. Keskmine kõnnikiirus varieerus 1,8–2,1 km/h (kõigi teraapiate keskmine 1,93 km/h), maksimaalne kiirus oli 2,5 km/h. Kehamassi toetus (ingl *body weight support*) oli keskmiselt vahemikus 46–53% ning robotipoolse juhendamise määr (ingl *guidance force*) keskmiselt 90%.

5. ARUTELU

Käesoleva magistritöö eesmärk oli hinnata ning võrrelda kõnnirobotteraapia ja füsioteraapia mõju PCI spastilise dipleegia diagnoosiga laste jämemotoorsele võimekusele. Kuigi PCI juhtumid on olemuselt väga erinevad ja suure variatiivsusega, on nende üheks ühiseks tunnuseks püsiv motoorikahäire (Baxter *et al.*, 2007) ning laste motoorse võimekuse parandamiseks on taastusravi, sh füsioteraapia, üks levinumaid rakendust leidvaid ravimeetodeid. Füsioteraapia kõrval on aina laialdasemat kasutust leidv sekumine kõnnirobotteraapia, mis on atraktiivne nii terapeutidele kui patsientidele ja nende vanematele. See võimaldab muuta teraapia lastele mitmekesisemaks, kaasahaaravamaks ning annab neile muuhulgas ka kogemuse korrektsest kõnnimustrist (Aisen *et al.*, 2011; Beveridge *et al.*, 2014). Kahjuks on kõnnirobotteraapiat eraldiseisva sekkumisena teaduskirjanduses vähe käsitletud ning ei ole selge, milline on selle mõju erinevas vanuses ning teatud raskusastme ja alavormiga PCI diagnoosiga laste motoorsele võimekusele.

Siinkohal võimaldab juhtumiuuring anda aimdust teraapiate mõjust teatud vanuses ning kindla PCI raskusastme ja vormiga lastele, andes sellega suuniseid nii edaspidiseks teadustööks kui taastusraviks. Käesolev uuring oli üles ehitatud kahe juhtumi analüüsina. Vaatlusalusteks oli kaks last, 9-aastane ja 10-aastane poiss, kellel oli diagnoositud PCI spastiline dipleegia. Mõlemal vaatlusalusel oli GMFCS klassifikatsiooni järgi PCI kergeim ehk I raskusaste: lapsed olid võimelised iseseisvalt abivahenditeta liikuma nii tasapinnal kui treppidel, kuid nende kiirus, koordineerimine ja tasakaal olid piiratud. Sekkumise ajal ei saanud kumbki laps medikamentooset antispastilist ravi ega uuringuväliseid füsioterapeutilisi mõjutusi.

Käesoleva uuringu tulemustest selgus, et nii kõnnirobotteraapia kui füsioteraapia järel ilmnes uuritavatel mitmetes jämemotoorsetes aspektides positiivseid muutusi, ent siiski omas neljanädalase sekkumisperioodi puhul PCI spastilise dipleegiaga (GMFCS I tase) vaatlusaluste kõnnifunktsiooni ja posturaalse stabiilsuse arendamisele suuremat mõju füsioteraapia. GMFM-66 testi tulemustele ei olnud märkimisväärset mõju kummalgi sekkumisel.

5.1. Sekkumiste mõju kõnnifunktsioonile

5.1.1. Vastupidavus

Vaatlusaluste vastupidavuse hindamiseks kasutati kuue minuti kõnnitesti. Kõnnirobotteraapiat saanud uuritava 6MWT tulemus oli pärast sekkumist 8,29% võrra suurenenud, olles enne kõnnirobotteraapiat 434 m ning pärast 470 m. Ühes vähestest uuringutest, kus on samuti uuritud kõnnirobotteraapia kui eraldiseisva, mitte kombineeritud teraapia mõju spastilise dipleegiaga laste kõnnifunktsioonile, oli uuritavate 6MWT sooritusel

läbitud keskmine distants pärast teraapiat suurenenud ühe meetri võrra (Ammann-Reiffer *et al.*, 2020), millega võrreldes on käesolevas uuringus kõnnirobotteraapiaga saavutatud muutus märkimisväärselt suurem. Fitzgerald *et al.* (2016) sõnul on GMFCS I taseme PCI diagnoosiga laste (vanus $8,98 \pm 3,78$ a) 6MWT tulemus keskmiselt 439,75 m, millega võrreldes oli käesoleva töö uuritava RO tulemus enne sekkumist keskmisest madalam, ent pärast sekkumist 30,25 m võrra keskmisest suurem. Kõnnirobotteraapia tulemuslikkust tõendab ka asjaolu, et kui võrrelda RO tulemust Storm *et al.* (2020) leitud 6MWT tulemuse minimaalse kliiniliselt olulise erinevuse väärtusega, mis oli GMFCS I–II taseme puhul 20–36 meetrit, võib RO 46-meetrist muutust pidada märkimisväärselt suuremaks. Siiski jääb RO tulemus ootuspäraselt alla tervete 9-aastaste poiste 6MWT tulemusele, mis Goemans *et al.* (2013) põhjal on $595,7 \pm 69,0$ m.

Füsioteraapiat saanud uuritava 6MWT tulemus oli enne sekkumist 501 m, pärast füsioteraapiat 450 m ehk 10,11% võrra vähenenud (võrreldes RO-ga oli FT tulemus enne sekkumist 76 m võrra suurem ja pärast sekkumist 20 m võrra väiksem). Magistritöö autori hinnangul ei näita aga FT hilisem tulemus vaatlusaluse tegelikku võimekust. Nimelt oli uuritaval lõpphindamisel 6MWT sooritamisel motivatsioon madal ja ilmnis meeleoluhäireid, mille tõttu ei olnud tema pingutus järjepidev ning soorituses esines seisakuid, mis ei olnud seotud puhkamisvajadusega. Ka Geiger *et al.* (2007) on täheldanud, et lastel võivad motivatsioonipuudus ning vähene arusaam testi sooritamise vajalikkusest 6MWT sooritust mõjutada. Magistritöö autori hinnangul oli FT-le testi sooritamise vajalikkust selgitatud ning laps mõistis ülesande olulisust, samuti oli ta testiga juba varasemast tuttav, olles seda alghindamisel korrektselt sooritanud. Siinkohal võib olukorda selgitada ka asjaolu, et PCI diagnoosiga laste üldist füüsilist sooritust võivad mõjutada mitmed tegurid: on leitud, et motoorselt väljakutsuvates olukordades on neil sageli madalam motivatsioon, mis omakorda võib olla seotud madala eneseusu ja läbikukkumise hirmuga (Majnemer *et al.*, 2010). Seega – kuigi 6MWT on nii kliinilises praktikas kui teadusuuringutes kasutamiseks laialdaselt tunnustatud, võivad magistritöö autori hinnangul olla testi tulemused mõjutatud nii vaatlusaluse motivatsioonist kui emotsionaalsest ja kognitiivsest seisundist, mis tõenäoliselt mängisid rolli ka käesolevas uuringus.

5.1.2. Kõnnikiirus

Vastupidavuse kõrval on oluline kõnnifunktsiooni komponent ka kõnnikiirus. Maksimaalse kõnnikiiruse määramiseks kasutatud 10MWT tulemused näitasid käesoleva uuringu sekkumiste järel mõlema uuritava kõnnikiiruse suurenemist: RO tulemus suurenes 0,14 m/s ehk 8,64% ning FT tulemus 0,2 m/s ehk 15,38% võrra. Saadud tulemusi saab kõrvutada

Schroeder *et al.* (2014) uuringuga, kus uuritavate maksimaalne kõnnikiirus püsis pärast 3-nädalast füsioteraapiat muutumatuna, ent sellele järgnenud 3-nädalase kõnnirobotteraapia mõjul suurenes maksimaalne kõnnikiirus sarnaselt käesoleva töö tulemustega keskmiselt 0,1 m/s võrra. Mainitud uuringu autorid aga leidsid, et täheldatud muutus ei olnud statistiliselt oluline. Selle põhjal võib oletada, et ka käesolevas uuringus ilmnenud maksimaalse kõnnikiiruse muutused ei olnud märkimisväärsed, ent on soodumus maksimaalse kõnnikiiruse näitaja tõusu suunas.

Kui käesolevas uuringus olid maksimaalse kõnnikiiruse muutused mõlemal lapsel küllaltki sarnased, siis sekkumisjärgsed muutused PODOSmart® liikumisanalüüsi abil hinnatud vabalt valitud kõnnikiiruses ja sammusageduses olid võrdlemisi erinevad. Kõnnirobotteraapiat saanud uuritava suurenes vabalt valitud kõnnikiirus pärast sekkumist 6,06% võrra, ent füsioteraapiat saanud uuritava oli vastav tulemus suurenenud koguni 50% võrra. Varasemad uuringud on leidnud, et kõnnirobotteraapial on vabalt valitud kõnnikiirusele suurem mõju kui füsioteraapial (Wallard *et al.* 2018) või et mõju nii füsioteraapia kui kõnnirobotteraapia järel hoopiski puudub (Schroeder *et al.* 2014). Kõrvutades nimetatud uuringute tulemusi käesolevas uuringus leituga, on FT vabalt valitud kõnnikiiruse 50-protsendiline suurenemine ja sekkumisjärgne tulemus märkimisväärsed. FT kõrgem kõnnikiirus viitab omakorda lapse liigutusliku kontrolli paranemisele (Wallard *et al.*, 2018), mida toetab ka asjaolu, et tema sammusagedus vähenes pärast füsioteraapiat 20% võrra. Füsioteraapia järel ilmnenud suuremaid muutusi võib selgitada rakendatud sekkumiste aktiivsuse määra erinevus. Käesolevas uuringus oli kõnnirobotteraapia ajal ligikaudu pool lapse kehamassist toetatud ning seetõttu ka sekkumise intensiivsus madalam. Füsioteraapias seevastu oli fookus suuremal määral aktiivsel lihastööl ja kehamassikandega harjutustel, mis on intensiivsemad ja millel on ühtlasi leitud olema suurem kõnnifunktsiooni arendav efekt (Družbicki *et al.*, 2013; Johnston *et al.*, 2011). Magistritöö autori hinnangul võiski suuremate sekkumisjärgsete muutusteni viia see, et füsioteraapias kasutatud meetodid eeldasid uuritavalt suuremat aktiivsust ja pingutust. Ka Moreau *et al.* (2016) ülevaate põhjal on kõnnikiiruse arendamisel suurema mõjuga sekkumised, kus kehamassi toetust ei rakendata.

Tuginedes eelpool kirjeldatule võib järeldada, et neljanädalane kõnnirobotteraapia omab GMFCS I taseme PCI spastilise dipleegia diagnoosiga laste kõnnifunktsiooni arendamisel vähest mõju – ainsa kõnnirobotteraapia järel ilmnenud märkimisväärse muutusena saab välja tuua kõnnivastupidavuse suurenemise. Võrreldes kahte rakendatud sekkumist, ilmnes rohkem muutusi neljanädalase füsioteraapia järel: märkimisväärsed olid vabalt valitud

kõnnikiiruse ja sammusageduse muutused, mis ühtlasi viitavad uuritava liigutusliku kontrolli suurenemisele. Füsioteraapia eelis kõnnifunktsiooni arendamisel võis seisneda kehamassikandega ehk suuremat aktiivsust eeldavate harjutuste rakendamises.

5.2. Sekkumiste mõju jämemotoorsele võimekusele

Lisaks kõnnifunktsiooni häirumisele on PCI diagnoosiga lastel ka teisi jämemotoorseid probleeme. Käesolevas uuringus kasutati jämemotoorse võimekuse hindamiseks GMFM-66 testi, mis on kliinilises praktikas laialdaselt kasutatav vaatlusel põhinev standardiseeritud ja valideeritud hindamisvahend, mille eesmärgiks on tuvastada PCI diagnoosiga laste jämemotoorse funktsiooni muutusi ajas (Russell *et al.*, 2021). Lisaks peegeldab PCI diagnoosiga laste jämemotoorse võimekuse taset ka GMFCS tase, mis on korrelatsioonis GMFM-66 tulemusega – mida kõrgem on funktsionaalsuse tase GMFCS-i järgi, seda kõrgem on ka jämemotoorsete funktsioonide testi skoor (Alotaibi *et al.*, 2014). GMFCS I tasemel olevate 9–12-aastaste laste GMFM-66 tulemus on keskmiselt $86,9 \pm 10,0\%$ (Hanna *et al.*, 2009), mis näitab laste kõrget funktsionaalsust, ent viitab siiski mootorsete puudujääkide esinemisele.

Käesolevas uuringus kasutati laste jämemotoorsete funktsiooni hindamiseks GMFM-66 testi C, D ja E alaosasid. Sarnaselt eelnevalt välja toodud GMFCS I taseme PCI diagnoosiga laste kõrgele funktsionaalsusele viitavatele GMFM-66 tulemustele, olid ka käesolevas uuringus vaatlusaluste tulemused kõikides alaosades üle 94%. Sekkumise järel toimusid muutused vaid testi E-alaosas (kõndimine, jooksmine, hüppamine): RO tulemus suurenes pärast kõnnirobotteraapiat 1,4% võrra (skoor suurenes ühe punkti võrra 2 cm laiusel pikijoonel kõndimise ülesandel), FT tulemus pärast füsioteraapiat aga vähenes samavõrra (skoor vähenes ühe punkti võrra paremal jalal hüplemise ülesandel). Kuna GMFCS I raskusastme PCI diagnoosiga laste puhul loetakse GMFM-66 E-alaosa puhul minimaalseks kliiniliselt oluliseks muutuseks neli punkti (Oeffinger *et al.*, 2008), ei saa käesolevas uuringus kummagi lapse ühepunktist muutust kliiniliselt oluliseks lugeda.

Sarnaselt käesoleva uuringuga puudusid olulised muutused GMFCS I-II taseme PCI diagnoosiga laste GMFM-66 D- ja E-alaosa tulemustes nii kõnnirobotteraapia kui füsioteraapia järel ka Klobucká *et al.* (2013) ning Ammann-Reiffer *et al.* (2020) uuringutes. Seevastu uuringus, kus vaatlusalused said 3 nädalat füsioteraapiat ning selle järel 3 nädalat kõnnirobotteraapiat, paranes GMFCS I taseme PCI diagnoosiga uuritavate GMFM-66 D- ja E-alaosade tulemus kliiniliselt olulisel määral (6,5 punkti võrra) (Schroeder *et al.*, 2014). Selle põhjal võib oletada, et kergeima PCI raskusastmega laste jämemotoorsete funktsioonide

arendamisel võib olla tõhusam kõnnirobotteraapia ja füsioteraapia vaheldumisi kombineerimine ning pikem sekkumine.

Samas on Borggraefe kolleegidega (2010) öelnud, et ka kõnnirobotteraapia eraldiseisva teraapiana omab GMFM-66 D- ja E-alaosa tulemustele märkimisväärsed mõju. Siinkohal on oluline välja tuua, et mainitud uuringus olid uuritavate tulemused nii enne kui pärast sekkumist madalamad kui käesoleva uuringu vaatlusalustel enne sekkumist. Kuna käesolevas uuringus oli nii kõnnirobotteraapiat kui füsioteraapiat saanud uuritavate GMFM-66 lähtetase väga kõrge, võis nende puhul esineda laaeft: kui GMFCS I ja II taseme PCI diagnoosiga lapsed on saavutanud teatud aspektides kõrge funktsionaalsuse, on edasised märkimisväärsed muutused vähetõenäolised (Beretta *et al.*, 2020). Seega võib käesolevas uuringus ilmnenu GMFM-66 tulemuste minimaalsete muutuste ning käsitletud kirjanduse põhjal väita, et GMFCS I taseme PCI puhul on neljanädalane kõnnirobotteraapia või samas mahus füsioteraapia uuritavate jämemotoorsete funktsioonide arendamise seisukohast liiga lühiaegsed, et märkimisväärsed efekti omada. Magistritöö autori hinnangul võib kõrge funktsionaalsusega laste puhul märkimisväärsemat arengut esile kutsuda pikem sekkumisperiood ning kõnnirobotteraapia ja füsioteraapia kombineerimine.

5.3. Sekkumiste mõju posturaalsele stabiilsusele

Nii jämemotoorset võimekust kui spetsiifilisemalt kõnnifunktsiooni mõjutab omakorda posturaalne stabiilsus, mis PCI diagnoosiga lastel on tervete eakaaslastega võrreldes oluliselt madalam (Rose *et al.*, 2002). Üheks sageli kasutatavaks posturaalse stabiilsuse hindamise meetodiks on ühel jalal seismise test. On leitud, et 9–10-aastased terved lapsed suudavad ühel jalal seista täiskasvanutega sarnasel määral ehk vähemalt 30 sekundit (Mani *et al.*, 2019). Käesolevas uuringus säilitas RO nii enne kui pärast kõnnirobotteraapiat vasakul jalal seistes tasakaalu üle 30 sekundi, täites nii eakohase normi, ent RO parema jala tulemus oli nii enne kui pärast kõnnirobotteraapiat vaid 2 sekundit. FT puhul oli tulemus vasakul jalal seistes samuti püsivalt 2 sekundit, paremal jalal aga suurenes tulemus 114,29% võrra: enne füsioteraapiat oli tulemus 14 sekundit, pärast sekkumist 30 sekundit. Seega saavutas FT pärast sekkumist Mani *et al.* (2019) põhjal paremal jalal seismisel eakohase normi.

Erisusi parema ja vasaku jala funktsionaalsuses võis mõlemal käesoleva uuringu vaatlusalusel täheldada nii ühel jalal seismisel kui GMFM-66 sooritusel. Kuigi valdavalt on taoline kehapoolte vaheline erinevus omane PCI hemipleegilisele vormile, esineb asümmeetrilisi mustreid ka spastilise diplegia diagnoosiga laste alajäsemete motoorses kontrollis (Kusumoto *et al.*, 2016). On leitud, et hemipleegiaga laste puhul on ühel jalal seismise

testi tulemus korrelatsioonis kõnnitsükli toefaasi pikkusega, mis on omakorda seotud kõnni stabiilsusega (Ertürk *et al.*, 2021). Mainitud korrelatsioon toetab ka käesolevas töös füsioteraapiat saanud uuritava tulemusi: pärast füsioteraapiat suurenesid märgatavalt FT ühel jalal seismise testi tulemus ja kõnnikiirus ning vähenes sammusagedus. Kõik need näitajad üheskoos viitavad füsioteraapiat saanud lapse liigutusliku kontrolli suurenemisele.

Teise posturaalse stabiilsuse parameetrina määrati käesolevas uuringus Tyromotion süsteemi TYMO® tasakaaluplatvormil uuritavate kõikumise trajektoori kogupikkus kahel jalal seismisel. Üllatuslikult oli RO kõikumise trajektoori kogupikkus pärast kõnnirobotteraapiat kõval pinnal seismisel nii avatud kui suletud silmadega suurenenud (vastavalt 41,67% ja 15,69% võrra), pehmel pinnal aga ilmnes nii avatud kui suletud silmadega RO kõikumise trajektoori kogupikkuses vähenemine vastavalt 5,66% ja 7,81% võrra. Magistritöö autori arvates võis trajektoori kogupikkuse vähenemine pehmel pinnal tuleneda asjaolust, et sekkumise mõju avaldub esmalt raskendatud tingimustes. Sarnaselt käesoleva uuringu tulemustele ilmnesid kõnnirobotteraapia ning kombineeritud kõnnirobotteraapia ja füsioteraapia järel olulisemad muutused just raskendatud tingimustes ka Nikityuk *et al.* (2016) ning Družbicki *et al.* (2010) uuringutes.

Peamine erinevus mainitud uuringute ja käesoleva töö tulemustes seisnes aga tõsiasjas, et kui käesolevas uuringus kõnnirobotteraapia järel vaatlusaluse kõikumise trajektoori kogupikkus kõval pinnal seistes suurenes, siis Nikityuk *et al.* (2016) ja Družbicki *et al.* (2010) täheldasid sekkumiste positiivset mõju PCI diagnoosiga laste posturaalsele stabiilsusele ka kõval pinnal teostatud mõõtmistel. Nimelt viitasid Nikityuki ja kolleegide (2016) tulemused vaatlusaluste keha survetsentri nihkumisega seotud parameetrite normaliseerumisele, mis tähendab, et pärast kõnnirobotteraapiat olid uuritavate posturaalse stabiilsuse näitajad lähemal tervete laste tulemustele. Ka Družbicki *et al.* (2010) uuritavatel, kes said kombineeritult kõnnirobotteraapiat ja füsioteraapiat, vähenes sekkumise järel kõikumise trajektoori kogupikkus kõval pinnal seismisel nii avatud kui suletud silmadega. Samas uuringus ainult füsioteraapiat saanud kontrollgrupi tulemustes autorite sõnul märkimisväärsed muutusi ei ilmnunud. Käesolevas uuringus oli seevastu FT kõikumise trajektoori kogupikkus pärast füsioteraapiat vähenenud kõikidel juhtudel (kõval pinnal avatud silmadega 14,81% ning suletud silmadega 13,64% võrra, pehmel pinnal vastavalt 20,9% ja 16,22% võrra). Seejuures on märkimisväärne, et FT kõval pinnal seismise kõikumise trajektoori kogupikkuse tulemused olid enne sekkumist suuremad kui RO-l, pärast sekkumist aga RO-ga võrreldes väiksemad – see viitab, et antud aspektis on füsioteraapia tõenäoliselt mõjusam kui kõnnirobotteraapia.

Erinevus käesoleva uuringu ja teiste autorite tulemustes võib tuleneda tõsiasjast, et nii Nikityuk *et al.* (2016) kui Družbicki *et al.* (2010) vaatlusaluste funktsionaalsus oli madalam (GMFCS tase II–III) kui käesoleva uuringu vaatlusalustel (GMFCS tase I). Magistritöö autorile teadaolevalt ei ole posturaalse stabiilsuse kontekstis GMFCS I taseme kohta tõendus põhiseid andmeid, millega käesoleva töö andmeid võrrelda, avaldatud. Ent sarnaselt eelpool mainitud GMFM-66-ga võib PCI kergeima raskusastmega lastel nii kõnnirobotteraapia kui teistegi sekkumiste puhul ka posturaalses stabiilsuses esineda laaeft (Arnoni *et al.*, 2019), mis võib olla üheks põhjuseks, miks käesolevas töös RO muutused kõikumise trajektoori kogupikkuses olid tagasihoidlikud. Laaefti võimendab fakt, et kui tervete laste ja noorte posturaalne stabiilsus suureneb vanuse kasvades, siis PCI diagnoosiga laste puhul ei ole vanuse ja posturaalse stabiilsuse vahel märkimisväärset seost (Rose *et al.*, 2002), mistõttu võib eeldada, et käesolevas uuringus oli RO arengupotentsiaal juba suuresti realiseerunud. Käesoleva töö autori arvates ei saa siinkohal teha kindlaid järeldusi, et füsioteraapia avaldas võrreldes kõnnirobotteraapiaga uuritavate kõikumise trajektoori kogupikkusele suuremat mõju, kuid arvestada tuleb asjaolu, et FT posturaalne stabiilsus oli enne sekkumist madalam kui RO-l (madalamale tasemele viitasid nii suurem kõikumise trajektoori kogupikkus kui lühem ühel jalal seismise aeg). Madalam lähtetase võib olla üheks põhjuseks, miks ilmnesid posturaalse stabiilsuse näitajates suuremad muutused just FT-l. Füsioteraapia võis antud aspektis tõhusamaks osutuda, kuna selle käigus esitati vaatlusalusele muuhulgas spetsiifilisi posturaalse stabiilsuse osas väljakutsuvaid ülesandeid, kõnnirobotteraapias aga oli laps roboti poolt toetatud ning seega olid teraapia käigus aktiivse posturaalse kontrolli osakaal ja väljakutse madalamad.

Kokkuvõtlikult saab öelda, et käesolevas töös ilmnes mõningaid märke sekkumisjärgsest posturaalse stabiilsuse suurenemisest mõlemal uuritaval. Kahe sekkumise võrdluses toimus rohkemal määral muutusi füsioteraapiat saanud vaatlusalusel. Magistritöö autori arvates on oluline antud teema edasine uurimine, selgitamiseks, kas ja kuidas muutuvad kõrge funktsionaalsusega PCI diagnoosiga laste posturaalse stabiilsuse näitajad erinevate pikemaajaliste sekkumiste mõjul, ning tuvastamiseks vastavale sihtgrupile kõige tõhusamad sekkumised.

5.4. Uuringu tugevused ja piirangud

Üheks käesoleva töö piiranguks on juhtumiuuringule omane väike valim, mistõttu ei saa leitud tulemuste põhjal teha lõplikke ega laiaulatuslikke järeldusi. Tulenevalt väikesest uuritavate arvust võisid sekkumiste efektiivsus ja uuritavate tulemused olla suuremal määral mõjutatud vaatlusaluste individuaalsetest iseärasustest. Samuti saab piiranguna välja tuua

suhteliselt lühikese sekkumise perioodi – uuritavate kõrgest funktsionaalsusest tulenevalt võis neil esineda laaeft (Arnoni *et al.*, 2019; Beretta *et al.*, 2020), mille tõttu võib olla oluliste muutuste ilmnemiseks vajalik pikem sekkumine. Teemaarenduse puhul oli miinuseks ka varasemate kõnnirobotteraapiat käsitletud uuringute vähesus, mis piiras kirjanduse analüüsi võimalusi.

Käesoleva uuringu tugevuseks on väheuuritud teema käsitlemine. Kuigi kõnnirobotteraapia on Eestis PCI diagnoosiga laste taastusravis sagedasti kasutatav meetod, ei ole magistr töö autorile teadaolevalt antud teemat Eestis varem uuritud. Samuti on rahvusvahelises teaduskirjanduses kõnnirobotteraapia eraldiseisva sekkumisena väheuuritud teema. Plussina saab välja tuua ka uudsete hindamismeetodite (PODOSmart[®] liikumisanalüüs, Tyromotion TYMO[®] tasakaaluplatvorm) kasutamise: need üha kasvava tõendus põhiseega ning kõrge kasutusmugavusega meetodid on samuti kasutusel aina enamates kliinilistes keskkondades, mistõttu on nende uuringus kasutamisel suur praktiline väärtus. Kuna kirjanduses on kõnnirobotteraapiat sageli käsitletud kombineeritult teiste sekkumistega ning seejuures on kaasatud heterogeenseid valimeid, lisavad käesolevale uuringule väärtust ka kõnnirobotteraapia kui eraldiseisva sekkumise rakendamine ning ühtsete tunnustega uuritavate kaasamine. Käesolev kahe juhtumi analüüsil põhinev uuring annab suuniseid nii kliiniliseks praktikaks kui edasiseks teadustööks.

Magistr töö autori hinnangul on PCI diagnoosiga laste taastusravi kvaliteedi tõstmiseks väga oluline edasine eraldiseisva kõnnirobotteraapia mõju uurimine. Laiapõhjalisemate järelduste tegemiseks on vajalikud suurema valimiga uuringud, kus hinnatakse kõnnirobotteraapia mõju spetsiifiliste tunnustega (kindel PCI alavorm ja raskusaste ning vanus) gruppidele.

6. JÄRELDUSED

1. Neljanädalane kõnnirobotteraapia suurendas GMFCS I taseme PCI spastilise dipleegia diagnoosiga lapse kõnnivastupidavust ja posturaalset stabiilsust pehmel pinnal.
2. Neljanädalane füsioteraapia suurendas GMFCS I taseme PCI spastilise dipleegia diagnoosiga lapse kõnnikiirust ja posturaalset stabiilsust nii kõval kui pehmel pinnal.
3. Neljanädalasel kõnnirobotteraapial ega neljanädalasel füsioteraapial ei olnud kummagi GMFCS I taseme PCI spastilise dipleegia diagnoosiga lapse GMFM-66 testi tulemustele mainimisväärset mõju.
4. Neljanädalane füsioteraapia oli kõnnifunktsiooni ja posturaalse stabiilsuse arendamisel mõjusam kui neljanädalane kõnnirobotteraapia.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Aisen ML, Kerkovich D, Mast J, Mulroy S, Wren TA, *et al.* Cerebral palsy: clinical care and neurological rehabilitation. *The Lancet Neurology* 2011; 10(9): 844–852.
2. Alotaibi M, Long T, Kennedy E, Bavishi S. The efficacy of GMFM-88 and GMFM-66 to detect changes in gross motor function in children with cerebral palsy (CP): a literature review. *Disability and Rehabilitation* 2014; 36(8): 617–627.
3. Ammann-Reiffer C, Bastiaenen CH, Meyer-Heim AD, van Hedel HJ. Lessons learned from conducting a pragmatic, randomized, crossover trial on robot-assisted gait training in children with cerebral palsy (PeLoGAIT). *Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine* 2020; 13(2): 137–148.
4. Arnoni JL, Pavao SL, dos Santos Silva FP, Rocha NA. Effects of virtual reality in body oscillation and motor performance of children with cerebral palsy: a preliminary randomized controlled clinical trial. *Complementary Therapies in Clinical Practice* 2019; 35: 189–194.
5. Bar-On L, Molenaers G, Aertbeliën E, Van Campenhout A, Feys H, *et al.* Spasticity and its contribution to hypertonia in cerebral palsy. *BioMed Research International* 2015.
6. Baxter P, Morris C, Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A, *et al.* The definition and classification of cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2007; 49: 1–44.
7. Beretta E, Storm FA, Strazzer S, Frascarelli F, Petrarca M, *et al.* Effect of robot-assisted gait training in a large population of children with motor impairment due to cerebral palsy or acquired brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2020; 101(1): 106–112.
8. Beveridge B, Feltracco D, Struyf J, Strauss E, Dang S, *et al.* “You gotta try it all”: parents’ experiences with robotic gait training for their children with cerebral palsy. *Physical and Occupational Therapy in Pediatrics* 2015; 35(4): 327–341.
9. Borggraefe I, Schaefer JS, Klaiber M, Dabrowski E, Ammann-Reiffer C, *et al.* Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy. *European Journal of Paediatric Neurology* 2010; 14(6): 496–502.
10. Drużbicki M, Rusek W, Szczepanik M, Dudek J, Snela S. Assessment of the impact of orthotic gait training on balance in children with cerebral palsy. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 2010; 12(3): 53–58.

11. Družbicki M, Rusek W, Snela S, Dudek J, Szczepanik M, *et al.* Functional effects of robotic-assisted locomotor treadmill therapy in children with cerebral palsy. *Journal of Rehabilitation Medicine* 2013; 45(4): 358–363.
12. Eesti Haigekassa. Laste tserebraalparalüüs. Arendusravi juhend. 2007.
https://www.haigekassa.ee/files/est_raviasutusele_ravijuhendid_andmebaas_tunnustatud/PCI_juhend1.pdf, 09.04.2022.
13. Ertürk G, Akalan NE, Evrendilek H, Karaca G, Bilgili F. The relationship of one leg standing duration to GMFM scores and to stance phase of walking in children with hemiplegic cerebral palsy. *Physiotherapy Theory and Practice* 2021; 1–5.
14. Fitzgerald D, Hickey C, Delahunt E, Walsh M, O'Brien T. Six-minute walk test in children with spastic cerebral palsy and children developing typically. *Pediatric Physical Therapy* 2016; 28(2): 192–199.
15. Geiger R, Strasak A, Treml B, Gasser K, Kleinsasser A, *et al.* Six-minute walk test in children and adolescents. *The Journal of Pediatrics* 2007; 150(4): 395–399.
16. Goemans N, Klingels K, Van den Hauwe M, Boons S, Verstraete L, *et al.* Six-minute walk test: reference values and prediction equation in healthy boys aged 5 to 12 years. *PLoS One* 2013; 8(12): e84120.
17. Hanna SE, Rosenbaum PL, Bartlett DJ, Palisano RJ, Walter SD, *et al.* Stability and decline in gross motor function among children and youth with cerebral palsy aged 2 to 21 years. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2009; 51(4): 295–302.
18. Johnston MV. Plasticity in the developing brain: implications for rehabilitation. *Developmental Disabilities Research Reviews* 2009; 15(2): 94–101.
19. Johnston TE, Watson KE, Ross SA, Gates PE, Gaughan JP, *et al.* Effects of a supported speed treadmill training exercise program on impairment and function for children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2011; 53(8): 742–750.
20. Kerr C, McDowell BC, Parkes J, Stevenson M, Cosgrove AP. Age-related changes in energy efficiency of gait, activity, and participation in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2011; 53(1): 61–67.
21. Klobucká S, Kovac M, Ziakova E, Klobucky R. 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* 2013; 1: 71–81.

22. Kusumoto Y, Takaki K, Matsuda T, Nitta O. Relation of selective voluntary motor control of the lower extremity and extensor strength of the knee joint in children with spastic diplegia. *Journal of Physical Therapy Science* 2016; 28(6): 1868–1871.
23. Lefmann S, Russo R, Hillier S. The effectiveness of robotic-assisted gait training for paediatric gait disorders: systematic review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 2017; 14(1): 1–10.
24. Liao HF, Mao PJ, Hwang AW. Test-retest reliability of balance tests in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2001; 43(3): 180–186.
25. Lopes GH, David AC. Posturography in the analysis of postural control in children with cerebral palsy: a literature review. *Fisioterapia e Pesquisa* 2013; 20(1): 97–102.
26. Loukovitis A, Ziakas E, Zekakos DX, Petrelis A, Grouios G. Test-retest reliability of PODOSmart® Gait Analysis Insoles. *Sensors* 2021; 21(22): 7532.
27. Majnemer A, Shevell M, Law M, Poulin C, Rosenbaum P. Level of motivation in mastering challenging tasks in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2010; 52(12): 1120-1126.
28. Mani H, Miyagishima S, Kozuka N, Kodama Y, Takeda K, *et al.* Development of postural control during single-leg standing in children aged 3–10 years. *Gait and Posture* 2019; 68: 174–180.
29. Mehrholz J, Thomas S, Kugler J, Pohl M, Elsner B. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2020; (10).
30. Moreau NG, Bodkin AW, Bjornson K, Hobbs A, Soileau M, *et al.* Effectiveness of rehabilitation interventions to improve gait speed in children with cerebral palsy: systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy* 2016; 96(12): 1938–1954.
31. Nikityuk IE, Moshonkina TR, Shcherbakova NA, Vissarionov SV, Umnov VV, *et al.* Effect of locomotor training and functional electrical stimulation on postural function in children with severe cerebral palsy. *Human Physiology*. 2016; 42(3): 262–270.
32. Novak I, Morgan C, Fahey M, Finch-Edmondson M, Galea C, *et al.* State of the evidence traffic lights 2019: systematic review of interventions for preventing and treating children with cerebral palsy. *Current Neurology and Neuroscience Reports* 2020; 20(2): 1–21.
33. Oeffinger D, Bagley A, Rogers S, Gorton G, Kryscio R, *et al.* Outcome tools used for ambulatory children with cerebral palsy: responsiveness and minimum clinically important differences. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2008; 50(12): 918–925.

34. Oskoui M, Coutinho F, Dykeman J, Jette N, Pringsheim T. An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2013; 55(6): 509–519.
35. Østensjø S, Carlberg EB, Vøllestad NK. Motor impairments in young children with cerebral palsy: relationship to gross motor function and everyday activities. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2004; 46(9): 580–589.
36. Palisano RJ, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston MH. Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification System. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2008; 50(10): 744–750.
37. Patel DR, Neelakantan M, Pandher K, Merrick J. Cerebral palsy in children: a clinical overview. *Translational Pediatrics* 2020; 9: S125.
38. Rose J, Wolff DR, Jones VK, Bloch DA, Oehlert JW, *et al.* Postural balance in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2002; 44(1): 58–63.
39. Russell DJ, Wright M, Rosenbaum PL, Avery LM. Gross Motor Function Measure (GMFM-66 & GMFM-88) User's Manual 3rd Edition. London: Mac Keith Press; 2021.
40. Schroeder AS, Homburg M, Warken B, Auffermann H, Koerte I, *et al.* 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 Paediatric Neurology* 2014; 18(4): 502–510.
41. Storm FA, Petrarca M, Beretta E, Strazzer S, Piccinini L, *et al.* Minimum clinically important difference of gross motor function and gait endurance in children with motor impairment: a comparison of distribution-based approaches. *BioMed Research International* 2020.
42. Thompson P, Beath T, Bell J, Jacobson G, Phair T, *et al.* Test-retest reliability of the 10-metre fast walk test and 6-minute walk test in ambulatory school-aged children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2008; 50(5): 370–376.
43. Tyromotion. Tymo® Therapy Plate Gebrauchsanweisung / Manual. 2015.
<http://docplayer.net/59338116-Tymo-therapy-plate-gebrauchsanweisung-manual.html>, 04.05.2022.
44. Tyromotion. TYMO® - Stability and Coordination. 2022.
<https://tyromotion.com/en/products/tymo/>, 13.05.2022.
45. Ziaqkas E, Loukovitis A, Zekakos DX, Chau TD, Petrelis A, *et al.* A novel tool for gait analysis: validation study of the Smart Insole PODOSmart®. *Sensors* 2021; 21(17): 5972.

46. Van den Broeck C, De Cat J, Molenaers G, Franki I, Himpens E, *et al.* The effect of individually defined physiotherapy in children with cerebral palsy (CP). *European Journal of Paediatric Neurology* 2010; 14(6): 519–525.
47. Wallard L, Dietrich G, Kerlirzin Y, Bredin J. Effect of robotic-assisted gait rehabilitation on dynamic equilibrium control in the gait of children with cerebral palsy. *Gait and Posture* 2018; 60: 55–60.
48. Woollacott MH, Shumway-Cook A. Postural dysfunction during standing and walking in children with cerebral palsy: what are the underlying problems and what new therapies might improve balance? *Neural Plasticity* 2005; 12(2–3): 211–219.

LIHTLITSENTS

Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Triinu Rooni,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) minu loodud teose

„Kõnnirobotteraapia mõju tserebraalparalüüsiga lapse jämemotoorsele võimekusele: juhtumiuuring“,

mille juhendajad on Monika Mets ja Merlin Burov, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

4. Kinnitan, et lihlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Triinu Rooni

17.05.2022