

UČINEK ORTOZE ZA GLEŽENJ IN STOPALO S SKLEPOM Z DVOJNO VZMETJO NA VZOREC IN PARAMETRE HOJE PRI OTROKU S CEREBRALNO PARALIZO: PRIKAZ PRIMERA

THE EFFECT OF ANKLE FOOT ORTHOSIS WITH DOUBLE SPRING JOINT ON THE GAIT PATTERN AND GAIT PARAMETERS IN A CHILD WITH CEREBRAL PALSY: CASE REPORT

doc. dr. Katja Groleger Sršen^{1,2}, dr. med., Ksenija Osrečki¹, inž. ort. in prot., Varja Flander¹, dipl. fiziot., prof. dr. Imre Cikajlo¹, univ. dipl. inž. el.

¹Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča;

²Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta

Povzetek

Uvod:

V prispevku predstavljamo primer petletnega otroka s cerebralno paralizo, ki smo ga zaradi vzorca hoje z dostopom na sprednji del stopala in hiperekstenzijo v kolenu v fazi opore (tip 3 po Amsterdamski klasifikaciji) opremili z ortozo za gleženj in stopalo (OGS). Preveriti smo želeli, kako se vzorec hoje z OGS s sklepom z dvojno diskasto tlačno vzmetjo za nadzor navora in obsega giba dorzalne in plantarne fleksije (ddvOGS) razlikuje od hoje z dinamično OGS z gibljivim elastomernim sklepom v gležnju in omejeno plantarno fleksijo.

Metode:

Otroka smo opremili z obema modeloma OGS in opravili klinično analizo hoje, teste hoje na 10 m in 6 minut ter računalniško analizo hoje. Otrok je pri analizi hoje z obema OGS uporabljal isto obutev. Po začetni analizi je naslednjih šest mesecev uporabljal le ddvOGS. Nato smo ponovili vse teste in analize hoje z obema OGS. Nastavitev ddvOGS po začetni nastavitvi nismo več spreminjali.

Rezultati:

Hoja z ddvOGS v primerjavi z dOGS je bila ob začetni oceni nekoliko hitrejša in bolj tekoča. Računalniška analiza hoje z

Abstract

Introduction:

The article presents the case of a five-year-old child with cerebral palsy. Due to a walking pattern with toe walking and knee hyperextension (type 3 according to the Amsterdam classification) the child needed an ankle foot orthosis (AFO). We wanted to check how the pattern of walking with AFO with a dual pneumatic discs spring joint for dorsal and plantar flexion control (ddsAFO) differs from walking with the dynamic AFO (dAFO) with mobile elastomere joint in ankle and limited plantar flexion.

Methods:

We fitted the child with both AFO models and performed clinical gait evaluation, walking tests at 10 m and 6 minutes, and a computerised gait analysis using the same shoes. During the following six months the child used only the ddsAFO, then all tests and analyses were repeated with both models of AFO. We did not change any characteristics of AFO after the initial fitting.

Results:

The gait with ddsOGS was slightly faster and more fluid at the initial assessment. The computer analysis showed slightly better kinematic characteristics of the gait, although differences in walking distance and speed were small. After six months the

ddvOGS je pokazala nekoliko boljše kinematične značilnosti hoje, čeprav so razlike glede na hojo z dOGS majhne. Šest mesecev po začetku uporabe je bila hoja z ddvOGS bolj simetrična, z boljšo obremenitvijo stopala v prečni in vzdolžni ravnini, blaga hiperekstenzija v kolenu pa je še ostala.

Zaključki:

Rezultati klinične analize hoje so pokazali, da uporaba ddvOGS v primerjavi z dOGS nekoliko bolj ugodno vpliva na vzorec hoje. Za bolj trdna priporočila uporabe ddvOGS bi bilo potrebno opraviti študijo na večjem vzorcu otrok s CP, natančneje opisati protokol namestitve in morebitnih prilagoditev OGS ter ob tem analizirati tudi vzorec hoje brez ortoze in eventualno podaljšati obdobje opazovanja.

Ključne besede:

otrok; cerebralna paraliza; ortoza za gleženj in stopalo; sklep z dvojno tlačno diskasto vzmetjo

gait pattern with ddsOGS was more symmetrical, with better alignment of the feet in the transverse and longitudinal plane, but with knee hyperextension still present.

Conclusions:

Clinical gait analysis showed that the use of ddsAFO is slightly more favourable compared to dAFO in terms of symmetry of gait pattern. For more reliable recommendations for ddsAFO use, a further study should be carried out on a larger sample of children with cerebral palsy, with more precise application and adjustment protocol, additional comparison to bare feet gait pattern and extended observation period for possible long-term effects.

Key words:

child; cerebral palsy; ankle foot orthosis; dual pneumatic discs spring joint






UVOD

Cerebralna paraliza (CP) predstavlja klinični izraz za zelo raznoliko skupino otrok s težavami na področju nadzora mišičnega tonusa, drže in koordinacije gibanja, občutenja, učenja, hranjenja in komunikacije, izvedbe vsakodnevnih dejavnosti in sodelovanja v ožjem in širšem socialnem okolju. Skupina otrok s CP je zelo heterogena in vsak od otrok ima svoj spekter naštetih težav (1). Glede na grobe zmožnosti gibanja lahko otroke s CP razvrstimo v eno od petih stopenj lestvice za razvrščanje (*angl.* The Gross Motor Function Classification System Expanded & Revised, v nadaljevanju GMFCS) (2, 3). Otroci in mladostniki v I. in II. stopnji GMFCS zmorejo učinkovito hoditi in premagovati daljše

razdalje, za kar ne potrebujejo pripomočkov. Tisti v stopnji III. in IV. za hojo ali vsaj nekaj korakov ob vodenju potrebujejo različne pripomočke, najpogosteje ortoze. Vendar se vzorci hoje lahko precej razlikujejo, zato je v preteklosti več avtorjev želelo razviti sistem za razvrščanje otrok glede na vzorec hoje (4). V uporabi sta Wintersov za osebe s hemiparetično obliko (5) in sistem Sutherlanda in Davidsa za osebe s diparetično obliko CP (6), oz. prilagojeni sistem Rhode in Grahama (7). Poleg teh se v praksi uporablja tudi Amsterdamski sistem za razvrščanje glede na vzorec hoje, ki so ga razvili v Vrije Universiteit Medical Center v Amsterdamu (8). Glede na položaj kolena in stopala ob dostopu Grunt predlaga pet različnih tipov hoje za osebe s hemiparezo in diparezo (Tabela 1). Sistem naj bi olajšal odločanje

Tabela 1: Amsterdamski sistem za razvrščanje glede na vzorec hoje pri osebah s cerebralno paralizo in predlagani modeli ortoz (8, 9).

Table 1: Amsterdam gait classification system for persons with cerebral palsy and suggested types of orthoses (8, 9).

Tip hoje/ Gait pattern	Tip 1 Type 1	Tip 2 Type 2	Tip 3 Type 3	Tip 4 Type 4	Tip 5 Type 5
Shematski prikaz/ Illustration					
Položaj kolena/ Knee position	Normalen	Pretiran izteg v fazi opore	Pretiran izteg v fazi opore	Pokrčeno v fazi opore	Pokrčeno v fazi opore
Stik stopala s tlemi/ Foot contact	Celo stopalo	Celo stopalo	Sprednji del stopala	Sprednji del stopala	Celo stopalo

interdisciplinarnega tima pri opremi z ustreznim modelom ortoze, vendar o njegovi uporabi v dostopni literaturi ni podatkov. Na voljo je le zloženska, ki so jo pripravili v enem od podjetij za ortotiko in protetiko (9).

Funkcijsko učinkovita hoja je pomemben terapevtski cilj pri otrocih s CP in uporaba ortoz je splošno sprejet terapevtski ukrep za vzpostavljanje ali izboljšanje vzorca hoje. Najpogosteje je pri otrocih s CP predpisana ortoza za gleženj in stopalo (OGS) (10). Z uporabo OGS zagotovimo primerno poravnavo gležnja in stopala, preprečimo patološko gibanje sklepov ter zmanjšamo vpliv patoloških refleksnih vzorcev (11). V terapevtskih programih uporabljamo več vrst OGS (Slika 2): rigidna OGS, ki pri hoji preprečuje ekvinusni položaj stopala med fazo zamaha kot tudi med fazo opore (5); OGS z listnato vzmetjo (*angl.* posterior leaf spring ankle-foot orthosis (pLAFO)), ki preprečuje ekvinusni položaj med fazo zamaha (5); dinamična OGS, ki dovoljuje prosto gibanje Ahilove tetive in mišice soleus (*angl.* dynamic AFO, dAFO) (12); OGS s preklopnim, elatomernim kovinskim sklepom (*angl.* hinged AFO, hAFO) (12) in antigravitacijska OGS (*angl.* floor-reaction force AFO) (13). Dinamične ortoze in ortoze s sklepom naj bi sicer zagotavljale manjšo podporo in stabilnost stopala, hkrati pa naj bi dovoljevale več aktivnosti otroka v procesu učenja hoje in krepitve mišic (12) ter izboljšale nadzor drže in ravnotežje (14).

Mednarodno združenje za protetiko in ortotiko (*angl.* International Society for Prosthetics and Orthotics, ISPO) je na konferenci leta 2008 pripravilo skupni dokument o z dokazi podprti uporabi ortoz (15). Pripravili so pregled učinkovitosti uporabe ortoz za



spodnje ude s stališča kinetike in kinematike hoje, vpliva na telesne zgradbe (dolžina mišic, preprečevanje izpaha kolka) in funkcije gibanja, vpliva na dejavnosti in zbrali rezultate raziskav o tem, kako uporabo ortoz sprejemajo uporabniki (15). Povzeli so, da pri otrocih s CP, ki hodijo, uporaba OGS preprečuje plantarno fleksijo ter lahko izboljša učinkovitost hoje (izboljšanje časovnih in prostorskih parametrov hoje, kot so hitrost hoje, kadenca, dolžina koraka, čas enojne in dvojne opore ter kinematiko skočnega sklepa). Poraba energije pri hoji se ob uporabi OGS lahko zmanjša (15). Prav natančnih navodil za izbiro modela glede na značilnosti hoje pa niso zapisali. Prav tako tega nismo našli v pregledu člankov o učinkovitosti ortoz za otroke s CP, ki smo ga objavili pred kratkim (16).

Veljaven in zanesljiv sistem za razvrščanje oseb s CP glede na vzorec hoje in z vzorcem hoje povezan standardiziran proces oskrbe z ortozami bi lahko precej olajšal redno klinično prakso. V nadaljevanju povzemamo model, ki so ga pripravili v enem od podjetij, ki je za otroke s CP izdelalo OGS z dvojno vzmetjo. Glede na vzorec hoje (Amsterdamski sistem za razvrščanje (8)) predlagajo izdelavo OGS z različno močnimi vzmetmi in obsegi diba v smeri dorzalne in plantarne fleksije, ki naj bi kar najbolje popravile vzorec hoje. Priporočila povzemamo v Tabeli 2 (9).

V redni klinični praksi se na oddelku za rehabilitacijo otrok Univerzitetnega rehabilitacijskega inštituta – Soča (URI – Soča) kar pogosto srečujemo z otroki s CP, ki imajo pri hoji izrazito pomanjkljiv odziv in dvig stopala, hkrati pa imajo še ohranjen obseg gibljivosti v skočnem sklepu. Pri otrocih s CP se z rastjo skeletnega sistema pogosto zgodi, da mišice ne uspejo slediti

Tabela 2: Predlagani modeli ortoz glede na Amsterdamski sistem za razvrščanje oseb s cerebralno paralizo glede na vzorec hoje (9).

Table 2: Suggested models of orthoses based on Amsterdam gait classification system for persons with cerebral palsy (9).

Tipi hoje/ Gait pattern	Tip 1 Type 1	Tip 2 Type 2	Tip 3 Type 3	Tip 4 Type 4	Tip 5 Type 5
Predlagani model OGS/ Suggested AFO model		dOGS s sprednjo ploščo; dolg in pod prsti prožen stopalni del; sklep z vzmetjo;			dOGS s sprednjo ploščo; dolg trden stopalni del; sklep z vzmetjo;
Togost zadajšnje vzmeti/ Strenght of posterior spring	osnovna	zelo močna	srednje močna	srednje močna	srednje močna
Dovoljeni obseg giba DF/ Allowed range of DF	20°	10°	15°	15°	15°
Togost sprednje vzmeti/ Strenght of anterior spring		srednje močna	zelo močna	zelo močna	zelo močna
Dovoljeni obseg PF/ Allowed range of PF	20°	15°	10°	10°	5°

Legenda/ Legend: OGS – ortoza za leženj in stopalo / AFO –ankle foot orthosis; dOGS – dinamična / dynamic; DF – dorzalna fleksija / dorsal flexion; PL – plantarna fleksija/ plantar flexion

tej rasti in se razvijejo kontrakture (17). Danes vemo, da to ni le posledica pomanjkljivega raztega mišic ob patološkem vzorcu gibanja, temveč tudi posledica pomanjkanja satelitskih celic v mišicah (18).

Ker na to dejstvo ne moremo vplivati, je oprema z ortozami še vedno pomemben del klinične prakse. Proizvajalci sklepov za OGS s sklepom z dvojno vzmetjo, ki je individualno prilagojena in izbrana glede na težo otroka, stopnjo spastičnosti in vzorec hoje, zagotavljajo učinkovitost in izboljšanje hoje v celotnem ciklu hoje (9). Po nekaj primerih otrok, ki smo jih opremili s takim modelom OGS, smo želeli preveriti, kako se vzorec hoje s tako ortozo razlikuje od hoje z običajno dinamično OGS. Poleg tega smo želeli oceniti tudi dolgoročni učinek uporabe take ortoze na vzorec hoje in obseg gibljivosti v skočnem sklepu pri otroku s CP.

METODE

Preiskovanec

Otrok je bil rojen po normalno potekajoči nosečnosti, ob izračunanem terminu poroda, po naravni poti, s porodno težo 3700 g, porodno dolžino 52 cm, obsegom glave 34 cm in oceno po Apgarjevi 9/10. Zgodnji razvoj je potekal brez posebnosti. Otrok je shodil v starosti 12 mesecev, vendar po prstih. Starši so povedali, da je levo stopalo kmalu po tem začel spuščati na podlago, desno pa je še naprej dostopal na prste. Zaradi suma na ekvinovarus je bil pregledan pri ortopedu. Opravljena je bila elektromiografija, ki ni pokazala posebnosti. Otrok v domačem okolju ni bil napoten v programe fizioterapije.

V starosti treh let je bil prvič napoten na pregled v URI-Soča. Pri hoji je desno dostopal na sprednji del stopala, z manjšo notranjo rotacijo in addukcijo v desnem kolku in hiperekstenzijo v desnem kolenu. Poravnava v kolkih je bila nekoliko pomanjkljiva, prav tako ravnotežje. Glede na pretirano živahne patelarne reflekse in povišan mišični tonus, predvsem desno, smo domnevali, da gre za cerebralno paralizo. Glede na zmožnost hoje smo otroka uvrstili v I. stopnjo GMFCS. Zaradi omejene gibljivosti v gležnju smo opravili program serijskega mavčenja. Z izboljšanim obsegom gibljivosti je v domačem okolju izvajal vaje za raztezanje. Ob kontroli čez tri mesece smo ugotovili, da se vrača vzorec hoje z dostopom na prste, pomanjkljivo dorzalno fleksijo stopala, notranjo rotacijo v kolku in hiperekstenzijo v kolenu na desni strani. Glede na to smo se odločili za opremo s plastično OGS z gibljivim sklepom (dOGS) za desni gleženj in stopalo, ki je dopuščala gibanje stopala v smeri dorzalne fleksije. V domačem okolju jo je otrok uporabljal šest do sedem ur dnevno. V naslednjih dveh letih je otrok vsake tri mesece redno prihajal na kontrolne preglede. Obseg gibljivosti v desnem skočnem sklepu se ni bistveno spreminjal.

Oprema z ortozo za gleženj in stopalo s sklepom z dvojno vzmetjo

Ker je vzorec hoje z dostopom na prste desno in hiperekstenzijo v kolenu v fazi opore v starosti pet let in pol še vztrajal (januar

2017), smo se odločili za opremo z novo dOGS za desni gleženj in stopalo. Ta je bila izdelana po modelu iz plastike, 3 mm debelega polipropilena, z zadajšnjim naslonom z gibljivim elastomernim sklepom v smeri dorzalne fleksije brez omejitve in z omejitvijo za plantarno fleksijo (Slika 1). Ortoza je popravila položaj stopala, ki je bil v fazi opore v valgusu. Po Amsterdamski lestvici smo otroka zaradi hoje s hiperekstenzijo kolena in dostopom na prste uvrstili v tip 3 hoje po Amsterdamskem sistemu (Tabela 1). Nato smo izdelali še drugo OGS, ki je imela nameščen sklep z dvojno vzmetjo (ddvOGS). Velikost sklepa in togost vzmeti predlaga proizvajalec na podlagi osnovnih značilnosti otroka (v oklepajih so dejanski podatki vključenega otroka): višina (119 cm), teža (25 kg), spol (ž), stran okvare (desna), diagnoza (cerebralna paraliza), velikost čevlja (30), debelina podplata, obseg giba v skočnem sklepu v smeri dorzalne fleksije in plantarne fleksije, tip hoje po Amsterdamskem sistemu (tip 3), raven aktivnosti - okolje, v katerem oseba hodi (brez omejitev gibanja na prostem). Glede na izbrane podatke konfigurator na spletni strani (19) ponudi tip ortoze (OGS), predlaga tehnologijo izdelave ortoze, izbiro enostranskega sklepa, oz. sklep s pomožnim parnim sklepom, sprednji oz. zadnji naslon, način pritrditve sklepa na ortozo in osnovni material sestavnih delov sklepa (titan, jeklo ...), ponudi možnost za nadzor obsega giba v sklepu, togost vzmeti v sklepu (sprednja vzmet srednje moči, zadnja vzmet zelo močna) in model sklepa (»neuro-swing«). Ortozo smo izdelali iz 3 mm debele plastike (polipropilen), s sprednjim naslonom s pomožnim medialnim parnim sklepom. Oba sklepa, notranji in zunanji, sta bila izdelana iz titana. Notranji, medialni sklep, je imel obseg plantarne fleksije omejen na 10°, obseg dorzalne fleksije pa na 15° (Tabela 2). Sprednjo in zadnjo diskasto vzmet zunanega sklepa (Slika 2) je bilo mogoče nastaviti in prilagajati glede na vzorec hoje, kar smo opravili ob prevzemu ortoze. Otrok je nato naslednjih šest mesecev uporabljal le ddvOGS za desni gleženj in stopalo. Ortozo smo izdelali v okviru internega projekta, ki ga je odobrila etična komisija URI Soča.



Slika 1: Dinamična ortozo za gleženj in stopalo z gibljivim sklepom v smeri dorzalne fleksije.

Figure 1: Dynamic ankle foot orthosis with mobile joint in the direction of dorsal flexion.



Slika 2: Dinamična ortoza s sklepom z dvojno vzmetjo za pomoč dorzalnim in plantarnim fleksorjem (sklep gibljiv v obe smeri).

Figure 2: Dynamic orthosis with double spring joint for helping dorsal and plantar flexor muscles (two-way mobile joint).

Ocenjevalni instrumenti

Pri otroku smo v fizioterapiji opravili klinično analizo hoje, meritve dolžine spodnjih udov, meritve obsega gibljivosti skočnih sklepov pri iztegnjenem in pokrčenem kolenu ter teste hoje (6 minutni test hoje (20) in test hoje na 10 m (21)) najprej ob uporabi dOGS, nato še ddvOGS.

Računalniška analiza hoje

Biomehansko analizo hoje v nadzorovanem okolju smo opravili s sistemom Vicon MX (Oxford Metrics Ltd, Oxford, VB). Pri tem sistemu šest infrardečih kamer pokriva celotno območje hoje, tako da je vsak odbojni marker, nameščen na gibajočem se telesu, viden z vsaj dvema kamerama (0,3 Mpix, 50 Hz). Odbojni označevalci so na telo pritrjeni po modelu Plug-in-Gait (22), torej na sklepih in segmentih, ter določajo tridimenzionalni (3D) položaj lokalnega koordinatnega sistema. Z matematičnim modelom povežemo segmente in tako izračunamo 3D kinematiko v zelenih sklepih. Med hojo preiskovanec stopa na šest-dimenzijske plošče (AMTI OR6, Advanced Mechanical Technology, INC., Watertown, MA, ZDA), kar omogoča 3D zajem sil in navorov med hojo ter v

kombinaciji s kinematiko izračun kinetičnih parametrov (navorov in moči v posameznih sklepih, reakcijske sile, idr). Kinematične in kinetične parametre hoje normiramo na starost, višino in težo preiskovanca ter primerjamo med sabo in z normativom zdrave hoje (23, 24).

Analizo hoje smo opravili 14 dni po prevzemu ddvOGS, ko smo pričakovali, da se bo otrok na novo ortozi že prilagodil in pri uporabi ne bo imel težav. Nevrofiziološka asistentka je otroku namestila odbojne označevalce po modelu Plug-in-Gait (22). Najprej smo opravili analizo hoje v laboratoriju za biomehansko analizo hoje z ddvOGS, nato še analizo hoje z dOGS. Izmerjene vrednosti smo normirali na starost in predhodno izmerjeno višino in težo preiskovanca. Izračunali smo časovne in dolžinske parametre (hitrost, kadenco, dolžino dvojnega koraka in simetrijo hoje) in kinematiko v sklepih (gležnju, kolenu in kolku), medenici in trupu v sagitalni, frontalni in transverzalni ravnini. Za boljše razumevanje principov hoje smo izračunali propulzijo, ki jo navadno pridobimo iz odzivne moči v gleženjskem sklepu, gibanja prijemališča reakcijske sile ter porazdelitve navorov in sil po posameznih sklepih.

Vse meritve, klinične teste in računalniško analizo hoje smo ponovili čez šest mesecev in primerjali rezultate za obe ortozi.

REZULTATI

Klinična ocena hoje in meritve gibljivosti

V primerjavi z dOGS, ki je sicer primerno korigirala dostop pri hoji (na celo stopalo) in položaj kolena (brez hiperekstenzije), je bila hoja z ddvOGS bolj enakomerna, tekoča, mehkejša, z več dinamike v gležnju in kolenu. Tudi tek z ddvOGS je bil bolj enakomeren. Pri uporabi obeh OGS je bila vidna notranja rotacija spodnjega uda v desnem kolku. Otroku je uporabljal ddvOGS ne le brez težav, temveč raje kot dOGS. Redno jo je uporabljal tudi v vrtcu. Meritve gibljivosti sklepov spodnjih udov se v obdobju spremljanja niso spremenile. Meritve dolžine spodnjih udov so pokazale, da je desna noga krajša za 1 cm (absolutno in relativno).

Tabela 3: Rezultati testov hoje z obema modeloma ortoze.

Table 3: Gait measurement test results with both types of orthosis.

	Začetna ocena/ Initial assessment		Ocena po 6 mesecih/ Assessment after 6 months	
	dOGS/ dAFO	ddvOGS/ dsdAFO	dOGS/ dAFO	ddvOGS/ dsdAFO
Test hoje 6 min (m)/ 6-minute walk test (m)	329	414	430	422
Test hoje na 10 m (sek)/ 10-metre walk test (s)	9,79	8,1	8,2	8,1

Legenda/Legend: ddvOGS – dinamična ortoza za gleženj in stopalo s sklepom z dvojno vzmetjo/ dsdAFO – double spring dynamic ankle foot orthosis; dOGS – dinamična OGS/ dAFO – dynamic AFO

Testi hoje

Ob prvem testiranju, ko se je otrok navadil na uporabo obeh ortoz, so testi hoje pokazali, da lahko z ddvOGS v šestih minutah prehodi večjo razdaljo. Rezultati hoje so ostali praktično enaki tudi po šestih mesecih uporabe te ortoze. Hkrati pa smo ugotovili, da se je hitrost hoje z dOGS povečala, prav tako pa tudi prehojena razdalja v šestih minutah. Slednja je bila celo večja kot hoja z ddvOGS (Tabela 3).

Računalniška analiza hoje

Časovni in dolžinski parametri

Ob prvi meritvi je bila hoja z ddvOGS glede na normativ hitrejša, predvsem z daljšim dvojnimi korakom in enako kadenco (Tabela 4). Hoja je bila asimetrična, z indeksom 1,10 levo. Ob ponovni meritvi, šest mesecev kasneje, je analiza pokazala, da se hoja minimalno razlikuje v hitrosti v korist ddvOGS, ob enaki kadenci, a daljšem dvojnem koraku.

Kinematika in kinetika

Primerjava obeh ortoz sicer ni pokazala očitnih razlik v vzorcu hoje (Tabela 4). DdvOGS se je bolje obnesla pri dostopu, kar je bilo videti v gibanju gležnja in stabilnejšem plantarnem momentu tudi na levi strani (Slika 3) v času, ko je na desni nastopila hiperekstenzija v kolenu (Slika 4). Prav tako je bila z ddvOGS amplituda gibanja in anteriornega nagiba trupa manjša.

Ob ponovni meritvi, šest mesecev kasneje, je analiza pokazala, da je hoja simetrična, gibanje medenice poravnano v frontalni ravnini z normativom, v sagitalni ravnini pa je tudi anteriorni nagib manjši. Za doseganje enake hitrosti otrok opravlja daljše korake in hodi z manjšo kadenco (Tabela 4). Še vedno pa ostaja hiperekstenzija v desnem kolenu (Slika 4). Razlika med ortozama je v funkciji minimalna; stabilnejša je obremenitev v desnem kolku v fazi opore in primernejše vzdolžno obremenjevanje stopala med hojo.

Prijemališče reakcijske sile (*angl.* center of pressure (COP)) ob začetni oceni vzdolžno kaže na dostop na levo in desno peto (slika 4). Prečna obremenitev na desni preide v osrednji fazi opore na lateralno stran, nato pa v zaključni fazi spet na medialno. Na levi obremenitev preide iz medialne proti lateralni. COP šest mesecev kasneje: vzdolžno kaže na dostop na peto na levi in desno v obeh meritvah. Prečno obremenjevanje na desni je bolj medialno, predvsem v končni fazi opore in pred odzivom. Na levi obremenitev preide iz medialno proti lateralno, a je za razliko tokrat v skladu z normativom in od dostopa do srednje faze opore enaka kot na desni. Vzdolžni COP kaže na zgodnejše napredovanje reakcijske sile proti vrhu desnega stopala v fazi opore, kar je bližje normativu (Slika 4).

RAZPRAVA

Z analizo prikazanega primera smo želeli preveriti, kako se vzorec hoje z ddvOGS razlikuje od hoje z dOGS. Poleg tega smo želeli

oceniti tudi morebitni dolgoročni učinek uporabe take ortoze na vzorec hoje in obseg gibljivosti v skočnem sklepu pri otroku s CP.

Klinična analiza hoje

Klinična ocena hoje je potrdila dober učinek obeh ortoz, dOGS in ddvOGS, s pomočjo katerih je otrok dostopal na celo stopalo, brez pretirane hiperekstenzije kolena. Ob tem pa smo ocenili, da je hoja z ddvOGS bolj enakomerna in tekoča. Pri obeh ortozah je bila vidna notranja rotacija v kolku, morda z dOGS nekoliko manj. Otroku je lahko tekel z obema ortozama, pri igranju in premagovanju ovir in klančin pa je bil bolj spreten z ddvOGS. V prid temu, da je bil učinek ddvOGS bolj ugoden, govori dejstvo, da je otrok to ortozo po prevzemu uporabljal raje kot dOGS v preteklem obdobju.

Testi hoje

Ugoden učinek je nakazal test hoje na šest minut (*angl.* Six minutes walk test, 6MWT) (20) na začetku uporabe, ko je otrok z ddvOGS prehodil 85 m več. Otroku je ob tem povedal, da je manj utrujen in da to ortozo raje nosi, čeprav je še enkrat težja od dOGS. Vendar pa tega učinka (daljše prehojene razdalje) šest mesecev kasneje nismo več videli, saj je otrok z dOGS v šestih minutah prehodil osem metrov več (Tabela 3), kar pa ni klinično pomembna razlika in sodi v okvir standardne deviacije za hojo zdravih šestletnikov (25) in otrok s CP GMFCS I. stopnje (26).

V literaturi je sicer na voljo kar nekaj podatkov o tem, da je 6MWT veljaven in zanesljiv test za zdrave otroke. Za slednje so Rodríguez-Núñez in sodelavci (27) opravili obsežen sistematični pregled in analizo šestih elektronskih zbirk podatkov z normativnimi vrednostmi (vključili so podatke 10 člankov, 5352 preiskovancev; 51,9 % moškega spola). Obteženo povprečje prehojene razdalje v šestih minutah je bilo 619,8 m, pri čemer je meta analiza naključnih učinkov pokazala zmerno povezanost med prehojeno razdaljo, višino, težo in starostjo. Nsenga Leunke in sodelavci (28) so potrdili ponovljivost in veljavnost testa za otroke s CP, ki lahko hodijo (GMFCS stopnji I. in II.).

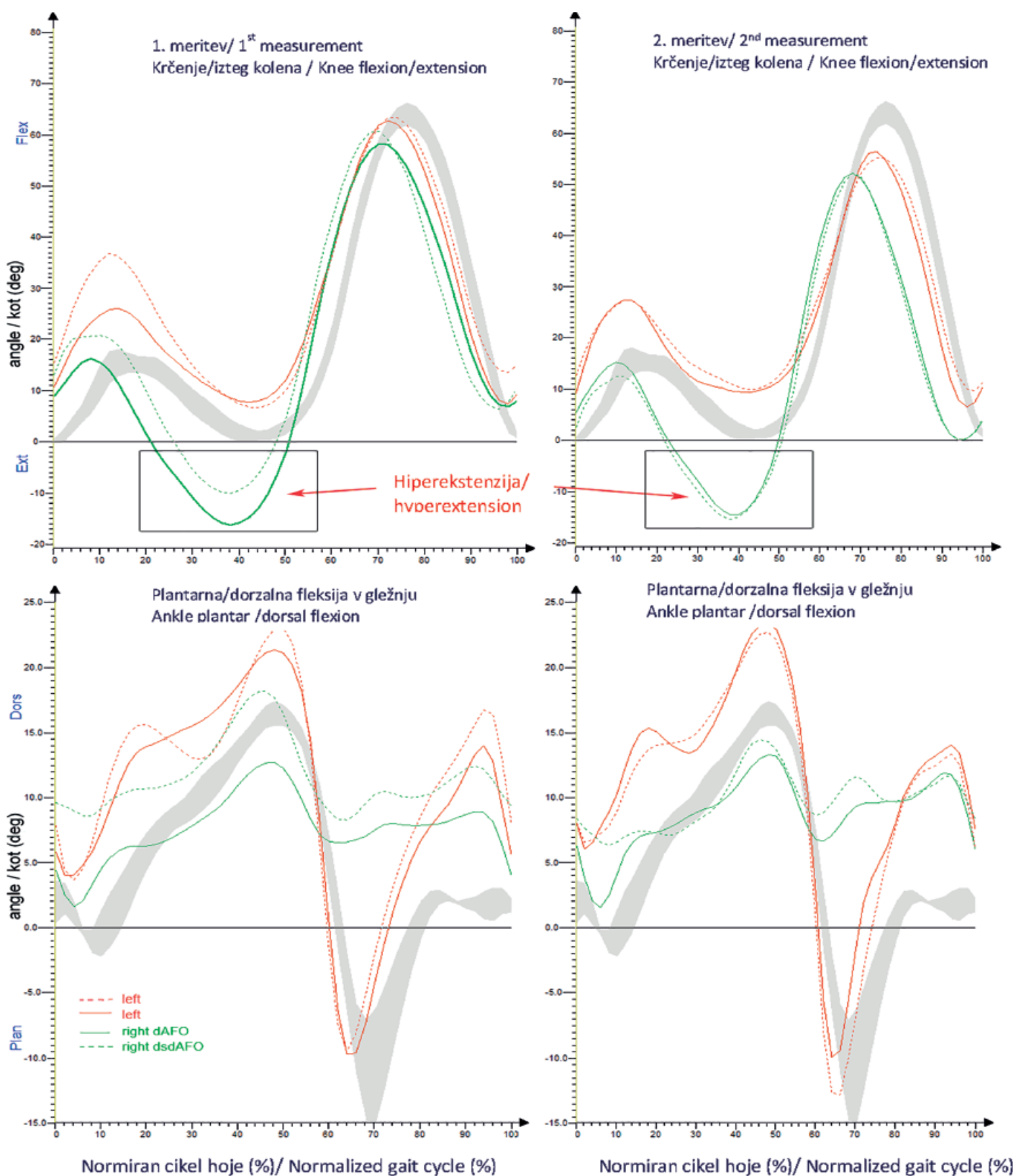
Če primerjamo rezultate predstavljenega otroka z normativi za petletne zdrave otroke, je otrok z dOGS ob začetni oceni dosegel rezultat pod 10. percentilo (376 m), medtem ko je z ddvOGS dosegel rezultat nad 75. percentilo (25). Šest mesecev kasneje je z obema ortozama dosegel rezultat med 10. in 25. percentilo normativne vrednosti za šestletne zdrave otroke (25). V prehojeni razdalji je bil po šestih mesecih viden napredek, kar je najbolj verjetno povezano z otrokovo rastjo v obdobju spremljanja. Fitzgerald in sodelavci so v raziskavo o uporabi 6MWT pri otrocih s CP vključili 145 otrok s CP s stopnjami GMFCS od I. do III. (povprečna starost 8,98 let, SO 3,8). Analizirali so morebitni vpliv starosti, telesne višine in teže. Za otroke v GMFCS stopnji I. se je pokazalo, da so s kombinacijo teh spremenljivk lahko pojasnili 26,2 % variance. Višina je bila edina neodvisna spremenljivka, ki je pomembno ($p < 0,05$) vplivala na rezultate 6MWT. V povprečju so otroci z GMFCS I. prehodili 439 m (SO 49), kar pomeni, da je naš otrok v starosti 5,5 let dosegel podpovprečni rezultat, šest mesecev kasneje pa boljši rezultat, manj pod povprečjem. Ker Fitzgerald in sodelavci (26) niso pripravili normativnih vrednosti po starosti, je ta primerjava lahko le posredna.

Tabela 4: Primerjava časovnih in dolžinskih parametrov, kinematike in kinetike hoje z obema ortozama.**Table 4:** Comparison of time and length parameters, kinematics and kinetics of gait with both orthoses.

Časovni in dolžinski parametri Time and length parameters	Začetna ocena Initial assessment		Ocena po šestih mesecih Assessment after 6 months	
	dOGS	ddvOGS	dOGS	ddvOGS
Hitrost hoje (m/s) – povprečje (SO)	1,11 [0,11]	1,22 [0,14]	1,08 [0,08]	1,12 [0,15]
Dvojni korak (m) – povprečje (SO)	1,02 [0,07]	1,17 [0,01]	1,11 [0,03]	1,14 [0,08]
Kadenca (korakov/ min) – povprečje (SO)	130 [7]	124 [8]	117 [8]	119 [12]
Kinematika in kinetika Kinematics and kinetics				
Gibanje medenice /sagitalno	protifazno na levi strani; anteriorno nihanje bolj izraženo pri dOGS		manjši anteriorni nagib medenice v celotnem ciklu hoje; z dOGS je manjši v fazi opore, večji v fazi zamaha, z ddvOGS obratno	
/frontalno	medenica dvignjena levo		simetrično in v skladu z normativom	
Rotacija medenice	desno - notranja, levo zunanja; manj izrazito z dOGS		enako kot pri 1. meritvi;	
Fleksija/ekstenzija kolkov	večja		razlike med ortozama I in II so minimalne;	
Abdukcija/addukcija	ni sprememb			
Notranja rotacija	manjša		manjša potreba po fleksijskem momentu v desnem kolku z ddvOGS;	
Ekstenzijski moment	v okviru normativa			
Fleksijski moment	večji			
Absorpcija moči kolkov v fazi opore	velika			
Generiranje moči kolkov pred prehodom v zamah	veliko			
Položaj kolena pri dostopu	pokrčen		rahlo pokrčen	
Izteg kolena v fazi opore	slabši	nepopoln	nepopoln	
Koleno v fazi opore	hiperekstenzija desno		enako kot pri 1. meritvi;	
Ekstenzijski moment	večji		v fazi opore manjša potreba po ekstenzijskemu momentu na obeh straneh z ddvOGS; spremembe so v mejah normativa	
Absorpcija moči v kolenih	večja		enako kot pri 1. meritvi;	
Generiranje moči v kolenih	večje		enako kot pri 1. meritvi;	
Dostop	na peto		enako kot pri 1. meritvi;	
Plantarna fleksija	odsotna		enako kot pri 1. meritvi;	
Odrivna moč	boljša	dobra	odrivna moč na levi je dobra;	
Absorpcija moči v fazi opore	velika		velika	
Plantarna obremenitev skočnega sklepa	sledi normativu do polovice faze opore, nato je manjša;	manj kompenzacij	enako kot pri 1. meritvi;	

Slika 3: Krčenje in izteg kolena.

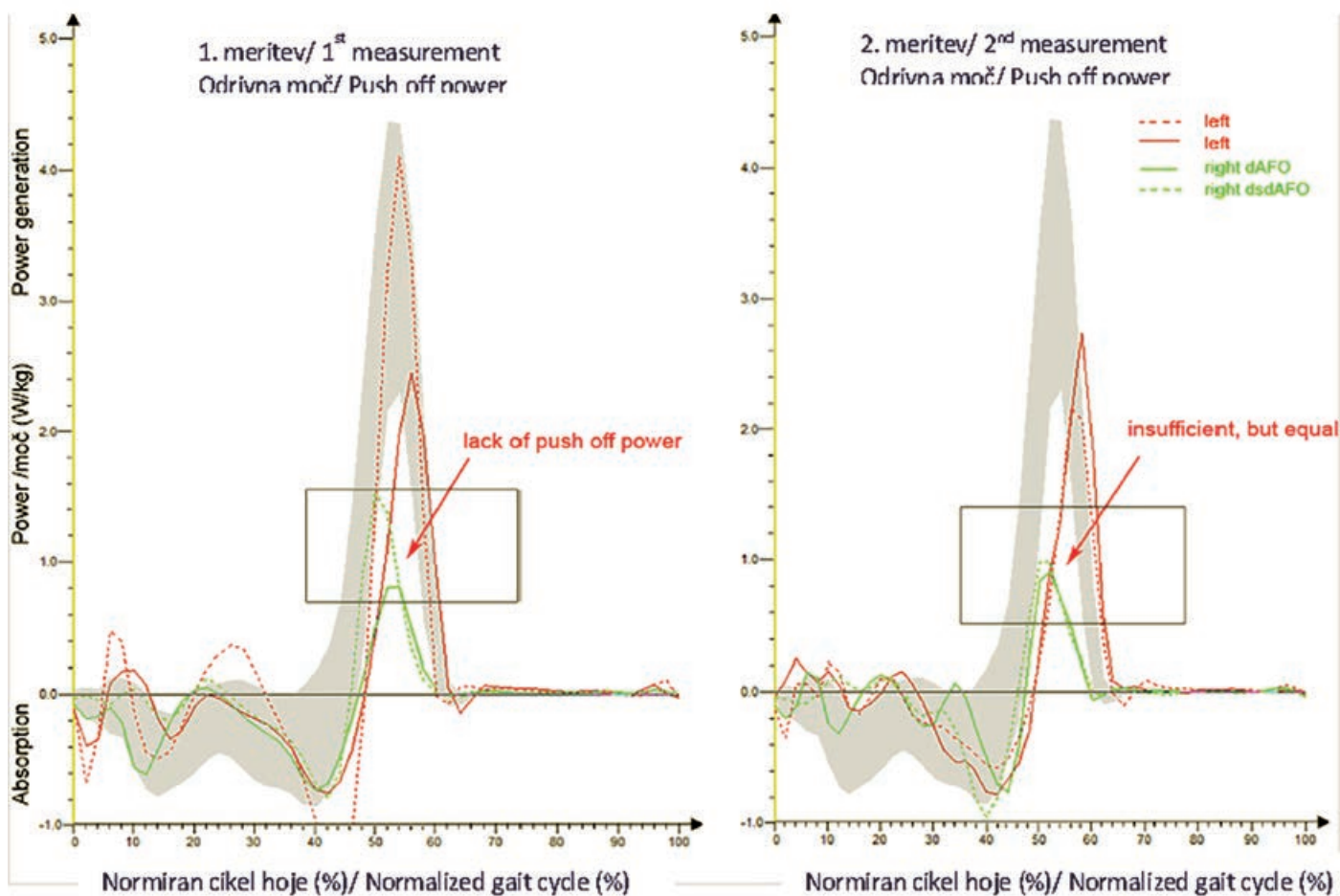
Picture 3: Knee flexion and extension.



Legenda/ Legend: krčenje – fleksija/ flexion; Ext. – iztegovanje/ extension; ddvOGS – dinamična ortoza za gleženj in stopalo s sklepom s dvojno vzmetjo/ dsdAFO – double spring dynamic ankle foot orthosis (črtkana črta/ dotted line); dOGS – dinamična OGS/ dAFO – dynamic AFO (polna črta/ full line); modra/ blue – desno/right, črna/black – levo spodnji ud/left lower limb, sivo/grey – normativ/normative, x os/axis – normiran cikel hoje/normalised gait cycle.

Slika 4: Odrivna moč v skočnem sklepu.

Picture 4: Ankle power.



Legenda/ Legend: glej Sliko 3; see Figure 3.

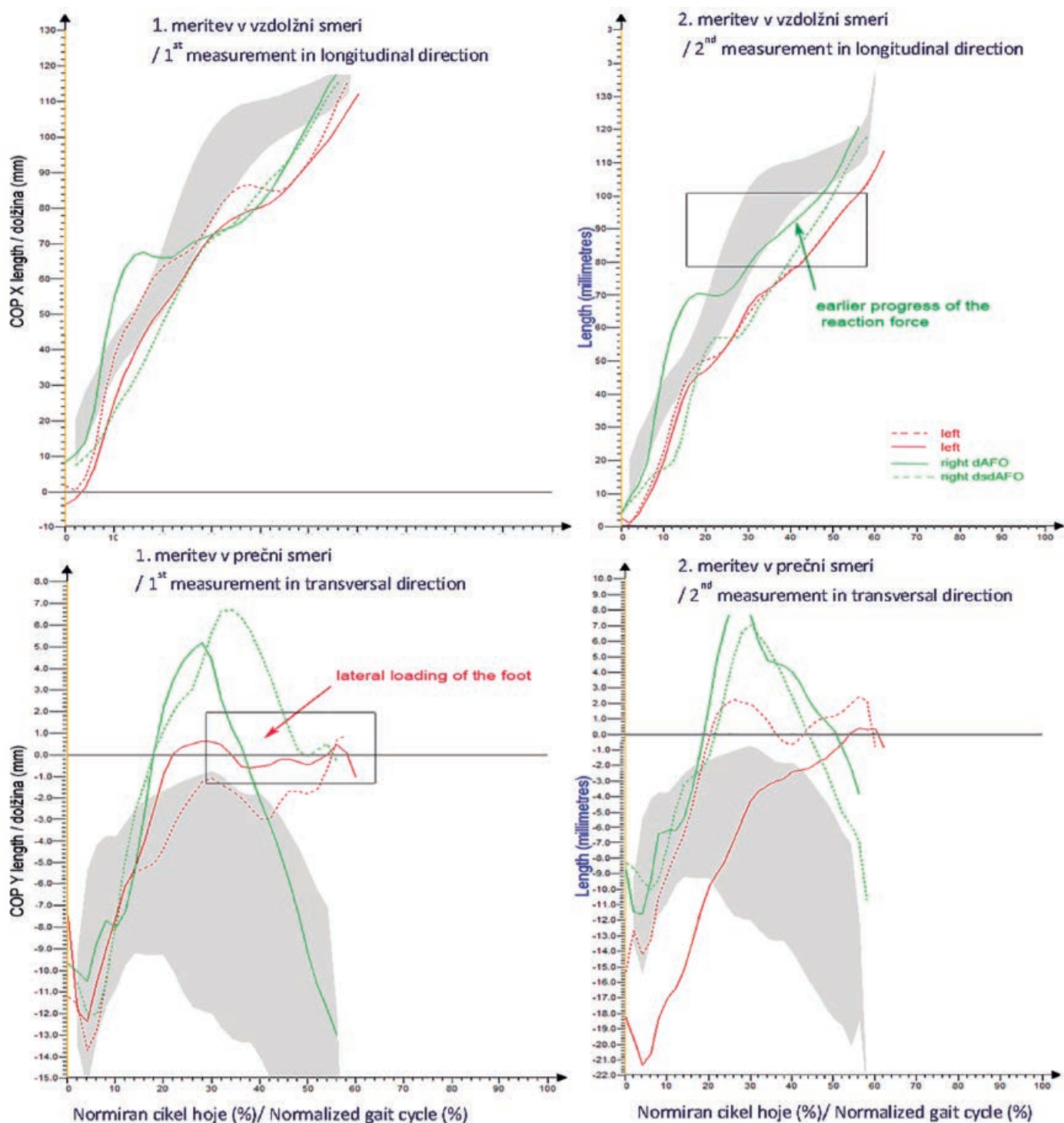
Morebitno težavo pri interpretaciji rezultatov predstavlja tudi dejstvo, da za 6MWT v dostopni literaturi nismo našli podatkov o minimalni klinično pomembni razliki za otroke s CP. Glede na rezultate raziskave Pina s sodelavci bi bilo morda bolje uporabiti dve-minutni test hoje (29). Ti so pred kratkim preverili veljavnost, zanesljivost, minimalno klinično pomembno razliko in pripravili normativne vrednosti za otroke v starosti od šest do 12 let. V študijo so vključili 716 zdravih otrok, v analizo veljavnosti pa še 64 otrok z okvaro živčevja, od tega 63 % otrok s cerebralno paralizo. Hodili so po ravni površini, na 15-metrski razdalji. Povprečna prehojena razdalja v dveh minutah je bila 152,8 m (SO 27,5). Ob ponovnem testiranju niso našli pomembnih razlik ($p > 0,05$). Zanesljivost med ocenjevalci je bila visoka (vsi intraklasni koeficienti so bili višji od 0,8). Prehojena razdalja pri zdravih otrocih ni bila odvisna od starosti, spola, višine ali teže otrok. V skupini otrok z okvaro živčevja je bila minimalna klinično pomembna razlika 23,2 m (95 % interval zaupanja) za vso skupino otrok, 16,6 m za tiste, ki so hodili samostojno in 15,7 m za otroke, ki so hodili s pripomočki. Zaključili so, da je dve-minutni test hoje uporaben, zanesljiv in veljaven test za otroke z okvaro živčevja (29).

Nekoliko boljši so bili tudi prvi rezultati testa hoje na 10 metrov (*angl.* 10 meters walk test; 10mWT) z ddoOGS glede na doGS (Tabela 3), ob ponovnem testiranju razlik v hitrosti hoje nismo več našli. Če rezultate primerjamo z normativnimi vrednostmi za zdrave otroke (30), ugotovimo, da je otrok hodil s hitrostjo, ki je povsem primerljiva z zdravimi otroki. Povprečje za petletnike znaša 10,35 s (max 12,12; min 8,58; SO 1,77), povprečje za šestletnike pa 10,11 s (max 12,47; min 7,75; SO 2,36) (30).

Po podatkih raziskave Thompsona in sodelavcev, 10mWT ni dovolj zanesljiv za otroke s CP (31). Bili so mnenja, da je bil 95 % interval zaupanja prevelik (31). Vendar so v raziskavo vključili majhen vzorec (31 otrok s CP, s stopnjami GMFCS od I. do III.), kar bi lahko vplivalo na rezultate zanesljivosti. Po drugi strani pa novejši podatki govorijo v prid uporabi 10mWT za otroke s CP (32). Chrysagis in sodelavci so leta 2014 objavili rezultate raziskave, v katero so vključili 35 otrok s CP in pokazali dobro pozitivno povezanost z rezultati ocene grobih zmožnosti gibanja (*angl.* Gross Motor Function Measure, GMFM) (33)). Podobno so pred časom zaključili tudi McDowell s sodelavci (34).

Slika 5: Prijemališče reakcijske sile.

Picture 5: Center of pressure.



Legenda/ Legend: glej Sliko 3; see Figure 3.

V dostopni literaturi nismo našli podatka o najmanjši klinično pomembni razliki za otroke s CP, kar tudi omejuje uporabnost tega testa za interpretacijo dobljenih rezultatov.

Računalniška analiza hoje

Analiza časovnih in dolžinskih parametrov je pokazala, da otrok z ddvOGS hodi hitreje tako ob začetni kot kontrolni analizi hoje,

čeprav se je razlika glede na parametre hoje z dOGS zmanjšala. Ob tem je začetna analiza kinematike in kinetike pokazala boljši dostop z ddvOGS in manjši nagib trupa. Izboljšana je odzivna moč ob uporabi ddvOGS, vendar je razlika med učinkom obeh ortoz ob ponovni analizi manjša (Slika 4). Analiza ob zaključku je pokazala bolj simetrično hojo, z boljšim gibanjem medenice. Še vedno je bila vidna hiperekstenzija kolena v fazi opore (Slika 3). Bližje normativu je tudi prečno in vzdolžno obremenjevanje stopala

(Slika 5). Razlika med ortozama je tu minimalna. Glede na to lahko zaključimo, da je uporaba obeh dinamičnih OGS na vzorec otroka s CP ugoden, učinki ddvOGS pa večji predvsem ob začetku uporabe. Po šestih mesecih uporabe ddvOGS se je izboljšala simetrija hoje, kar je za otroka z asimetrijo hoje zelo pomembno. O dolgoročnih učinkih takšne OGS v dostopni literaturi nismo našli zapisov, z izjemo povzetka samih avtorjev ortoze, ki so so ga predstavili na 25. letnem srečanju združenja za analizo gibanja pri otrocih in odraslih (*angl.* European Society of Movement Analysis in Adults and Children, ESMAC) v Lizboni leta 2016 (35). Ob predstavitvi primera so poročali, da so bili rezultati testov hoje in kinematike gibanja kolka, kolena in gležnja ob uporabi ddvOGS izboljšani. Izboljšanje vzorca hoje so opazili tudi ob analizi hoje brez ortoze po treh mesecih uporabe (35).

V številnih raziskavah in preglednih člankih je učinek dinamične ortoze pri otrocih s CP že dokazan tako pri časovnih parametrih hoje kot pri kinematičnih in kinetičnih parametrih računalniške analize hoje (16). Avtorji poročajo o podaljšanju dolžine koraka, zmanjšanju kadence, povečanju časa enojne opore in izboljšanju simetrije hoje. Pri kinematičnih parametrih je z dOGS mogoče preprečiti hiperekstenzijo v kolenu, povečati dorzalno fleksijo stopala v fazi zamaha in zmanjšati plantarno fleksijo v fazi opore. Pri kinetičnih parametrih hoje je mogoče povečati generiranje moči v fazi pred zamahom in povečati plantarni fleksijski moment. Wren in sodelavci so poročali, da je ob uporabi dOGS prišlo do zmanjšane moči odziva (36), Balaban in sodelavci (37) pa, da se zmanjšala največja moč v gležnju v fazi opore.

ZAKLJUČEK

Rezultati klinične analize hoje pri otroku s CP so pokazali, da uporaba ddvOGS v primerjavi z dOGS nekoliko bolj ugodno vpliva na vzorec hoje. To podpirajo tudi rezultati testov hoje ob začetku študije, nekoliko manj pa je to jasno ob ponovni oceni po šestih mesecih. Podobno prednost uporabe ddvOGS podpirajo rezultati računalniške analize hoje, čeprav so tudi tu razlike relativno majhne. Predvsem se nam zdi pomembno izboljšanje vzorca hoje z boljšo simetrijo in boljšo obremenitvijo stopala ob zaključku študije. Za bolj trdna priporočila uporabe ddvOGS bi bilo potrebno opraviti študijo na večjem vzorcu otrok s CP, ob tem analizirati tudi vzorec hoje brez ortoze in eventualno podaljšati obdobje opazovanja.

Literatura:

- Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, Leviton A, Paneth N, Dan B. et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2005; 47(8): 571-6.
- Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, Russell D, Wood E, Galuppi B. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med & Child Neurol.* 1997; 39: 214-223.
- Palisano R, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston M. GMFCS-E&R: Gross motor function classification system: expanded and revised. Hamilton: CanChild Centre for Childhood Disability Research Institute for Applied Health Sciences; 2007. Dostopno na: https://www.canchild.ca/system/tenon/assets/attachments/000/000/058/original/GMFCS-ER_English.pdf (citirano 12. 1. 2019).
- Dobson F, Morris ME, Baker R, Graham HK. Gait classification in children with cerebral palsy: a systematic review. *Gait Posture.* 2007; 25(1): 140-52.
- Winters TF, Gage JR, Hicks R. Gait patterns in spastic hemiplegia in children and young adults. *J Bone Joint Surg Am.* 1987; 69(3): 437-41.
- Sutherland DH, Davids JR. Common gait abnormalities of the knee in cerebral palsy. *Clin Orthop Relat Res.* 1993; 288: 139-47.
- Rodda J, Graham HK. Classification of gait patterns in spastic hemiplegia and spastic diplegia: a basis for a management algorithm. *Eur J Neurol.* 2001; 8 suppl. 5: 98-108.
- Grunt S. Geh-Orthesen bei Kindern mit Cerebralparese. *Paediatrica.* 2007; 18(6): 30-34.
- FIOR & GENTZ: orthopädietechnik mit systemen; 2018. Dostopno na: www.fior-gentz.de (citirano 12. 1. 2019).
- Wingstrand M, Hägglund G, Rodby-Bousquet E. Ankle-foot orthoses in children with cerebral palsy: a cross sectional population-based study of 2200 children. *BMC Musculoskelet Disord.* 2014; 15: 327.
- Middleton E, Hurley G, McIlwan J. The role of rigid and hinged polypropylene ankle-foot-orthoses in management of cerebral palsy: a case study. *Prosthet Orthot Int.* 1988; 12(3): 129-35.
- Morris C. A review of the efficacy of lower-limb orthoses used for cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2002; 44(3): 205-11.
- Rogozinski BM, Davids JR, Davis RB 3rd, Jameson GG, Blackhurst DW. The efficacy of the floor-reaction ankle-foot orthosis in children with cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am.* 2009; 91(10): 2440-7.
- Hylton NM. Postural and functional impact of dynamic AFO's and foot orthoses in a paediatric population. *J Prost Orth.* 1990; 2(1): 40-53.
- Morris C, Condie D, eds. Recent developments in healthcare for cerebral palsy: implications and opportunities for orthotics: Copenhagen: International Society for Prosthetics and Orthotics; 2009. Dostopno na: https://cdn.ymaws.com/www.ispoint.org/resource/resmgr/4_EXCHANGE/ispo_cp_report_oxford_2008.pdf (citirano 10. 12. 2018).
- Groleger Sršen K. Učinkovitost uporabe ortoz za spodnje ude pri otrocih s cerebralno paralizo (CP): pregled literature. *Rehabilitacija.* 2019; 18 supl. 1: 29-41.
- Mathewson MA, Lieber RL. Pathophysiology of Muscle Contractures in Cerebral Palsy. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2015; 26(1): 57-67.
- Smith LR, Chambers HG, Lieber RL. Reduced satellite cell population may lead to contractures in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2013; 55(3): 264-70.
- Orthosis configurator: supported you when it comes to planning your orthosis. Luneberg: FIOR & Genz; 2019. Dostopno na: <https://www.orthesen-konfigurator.de/?lang=en> (citirano 12. 1. 2019).
- Bartels B, de Groot JF, Terwee CB. The six-minute walk test in chronic pediatric conditions: a systematic review of measurement properties. *Phys Ther.* 2013; 93(4): 529-41.
- Watson MJ. Refining the ten-metre walking test for use with neurologically impaired people. *Physiotherapy.* 2002; 88(7): 386-97.

22. Full body modeling with Plug-in Gait. Vicon documentation. Dostopno na: <https://docs.vicon.com/display/Nexus26/Full+body+modeling+with+Plug-in+Gait> (citirano 4. 7. 2019).
23. Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. 3rded. Hoboken: John Wiley and Sons; 2005.
24. Hof AL, Geelen BA, Van den Berg J. Calf muscle moment, work and efficiency in level walking; role of series elasticity. *J Biomech.* 1983; 16(7): 523-37.
25. Lammers AE, Hislop AA, Flynn Y, Haworth SG. The six-minute walk test: normal values for children of 4-11 years of age. *Arch Dis Child.* 2008; 93(6): 464-8.
26. 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. *Pediatr Phys Ther.* 2016; 28(2):192-9.
27. Rodríguez-Núñez I, Mondaca F, Casas B, Ferreira C, Zenteno D. Normal values of 6-minute walk test in healthy children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Rev Chil Pediatr.* 2018; 89(1): 128-136.
28. Nsenga Leunke A, Shephard RJ, Ahmaidi S. Six-minute walk test in children with cerebral palsy gross motor function classification system levels I and II: reproducibility, validity, and training effects. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012; 93(12):2333-9.
29. Pin TW, Choi HL. Reliability, validity, and norms of the 2-min walk test in children with and without neuromuscular disorders aged 6-12. *Disabil Rehabil.* 2018; 40(11): 1266-72.
30. Pereira AC, Ribeiro MG, Araújo AP. Timed motor function tests capacity in healthy children. *Arch Dis Child.* 2016;101(2): 147-51.
31. Thompson P, Beath T, Bell J, Jacobson G, Phair T, Salbach NM, et al. Test-retest reliability of the 10-metre fast walk test and 6-minute walk test in ambulatory school-aged children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2008; 50(5): 370-6.
32. Chrysagis N, Skordilis EK, Koutsouki D. Validity and clinical utility of functional assessments in children with cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014; 95(2): 369-74.
33. Russell DJ, Rosenbaum PL, Avery LM, Lane M. Gross Motor Function Measure (GMFM-66 & GMFM-88) user's manual. London: Mac Keith 2002.
34. McDowell BC, Kerr C, Parkes J, Cosgrove A. Validity of a 1 minute walk test for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2005; 47(11): 744-8.
35. Sabbagh D, Fior J, Gentz R. Long-term effects of a dynamic ankle foot orthosis on a patient with cerebral palsy following ischaemic perinatal stroke – a case study. *Gait Posture.* 2016; 49, Suppl 2: 224.
36. Wren TA, Dryden JW, Mueske NM, Dennis SW, Healy BS, Rethlefsen SA. Comparison of 2 orthotic approaches in children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther;* 2015; 27(3): 218–26.
37. Balaban B, Yasar E, Dal U, Yazicioglu K, Mohur H, Kalyon TA. The effect of hinged ankle-foot orthosis on gait and energy expenditure in spastic hemiplegic cerebral palsy. *Disabil Rehabil.* 2007; 29(2): 139–44.