

ZANESLJIVOST MERJENJA SPREMENLJIVK HOJE NARAVNOST PO TEKOČEM TRAKU Z DODANIMI NALOGAMI IN BREZ NJIH PRI ZDRAVIH ODRASLIH

RELIABILITY OF MEASURING GAIT VARIABLES DURING STRAIGHT WALKING ON A TREADMILL WITH AND WITHOUT ADDITIONAL TASKS IN HEALTHY ADULTS

Karolina Pahovnik, dipl. fiziot.¹, Metka Močilar, mag. fiziot.², izr. prof. dr. Urška Puh, dipl. fiziot.²

¹Zdravstvena fakulteta, Univerza v Ljubljani

²Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenija Soča

IZVLEČEK

Uvod:

Analiza hoje je pomembno orodje v rehabilitaciji, pri čemer merilni tekoči trakovi omogočajo objektivno merjenje časovno-prostorskih spremenljivk hoje. Kljub njihovi uporabi v raziskavah je zanesljivost meritev preverjena le za nekatere naprave. Namen raziskave je bil preveriti zanesljivost ponovljenih meritev časovno-prostorskih spremenljivk hoje na tekočem traku C-Mill naravnost pri zdravih odraslih brez dodane naloge in z različnimi dodanimi nalogami.

Metode:

V raziskavi je sodelovalo 31 zdravih odraslih. Izmerjene so bile časovno-prostorske spremenljivke hoje na tekočem traku C-Mill naravnost, brez dodanih nalog in med opravljanjem dodane kognitivne, motorično-kognitivne in motoričnih nalog, z meritvami, ponovljenimi v razmaku 4–10 dni.

Rezultati:

Rezultati so pokazali odlično zanesljivost večine spremenljivk hoje naravnost brez (ICC = 0,91–0,99) in tudi ob različnih dodanih nalogah (ICC = 0,91–0,99). Zmerna zanesljivost je bila ugotovljena pri izvedbi testa črkovne fluentnosti v mirovanju (ICC = 0,62) in ko je bila ta naloga dodana hoji (ICC = 0,60), pri tem pa je bila za ceno dvojne naloge zanesljivost nizka (ICC = 0,42).

ABSTRACT

Background:

Gait analysis is an important tool in rehabilitation, with instrumented treadmills providing an objective measurement of the temporal and spatial variables of gait. Despite their use in research, the reliability of measurements has only been verified for certain devices. The aim of the study was to examine the reliability of repeated measurements of the temporal-spatial gait parameters on a C-Mill treadmill in healthy adults without an additional task and with different additional tasks.

Methods:

Thirty-one healthy adults participated in the study. Temporal-spatial variables of walking on a C-Mill treadmill in a straight line without additional tasks and while performing additional cognitive, motor-cognitive and motor tasks were measured, with measurements repeated after 4–10 days.

Results:

The results showed excellent reliability for most of the gait parameters for straight-line walking without (ICC = 0.91–0.99) and also with various additional tasks (ICC = 0.91–0.99). Moderate reliability was found for the verbal fluency test in rest (ICC = 0.62) and when this task was added to walking (ICC = 0.60), while reliability of this dual task cost was low (ICC = 0.42).

Zaključek:

Uporaba tekočega traku C-Mill z natančno določenim protokolom se je izkazala kot zanesljiva metoda za analizo hoje in njenega odziva na dodane naloge.

Ključne besede:

C-Mill; tekoči trak; dvojna naloga; hoja; zanesljivost; premičnost; zdravi odrasli

Conclusion:

The use of C-Mill treadmill with a well-defined protocol proved to be a reliable method for gait analysis and its response to additional tasks.

Key words:

C-Mill; treadmill; dual task; gait; reliability; mobility; healthy adults

UVOD

Analiza hoje, definirana kot sistematično preučevanje človeške hoje, se v zadnjih desetletjih hitro razvija in postaja pomembno orodje v rehabilitaciji. Zlati standard analize hoje predstavljajo tridimenzionalni optično-elektronski sistemi za analizo gibanja, ki omogočajo natančno analizo hoje z merjenjem kinematičnih in časovno-prostorskih spremenljivk hoje (1). Slabosti omenjenih sistemov so visoki stroški, zahteve po namenskem laboratoriju in visoko usposobljenem osebju za zbiranje in analizo podatkov, kar je običajno dolgotrajen proces in manj primeren za klinično prakso (2, 3). Zato se v klinični praksi in raziskovanju vedno pogosteje uporabljajo merilne elektronske preproge (npr. GAITRite) in merilni tekoči trakovi (npr. Zebris in C-Mill), ki omogočajo objektivno merjenje časovno-prostorskih, ne pa kinematičnih spremenljivk hoje (4-6).

C-Mill je tekoči trak, opremljen s pritiskovnimi senzorji, ki med hojo zaznavajo premikanje središča pritiska in služijo za sprotno oceno trenutka prvega stika stopala s podlago in dviga z nje ter določanje položaja stopala na tekočem traku (7, 8). C-Mill omogoča merjenje in izračunavanje številnih časovno-prostorskih spremenljivk hoje, z namenom ocenjevanja in vadbe hoje v kombinaciji z navidezno resničnostjo (7). Nudi možnost varovanja z varnostnimi pasovi in/ali razbremenitve telesne teže (7, 8). V raziskavah pri pacientih po možganski kapi (9, 10), s Parkinsonovo boleznijo (11, 12) in starejših odraslih (13) so ga uporabili za analizo hoje, kljub temu da so njegove merske lastnosti slabo raziskane. V eni raziskavi so C-Mill uporabili kot orodje za preverjanje veljavnosti mobilne aplikacije za analizo hoje pri osebah z unilateralno okvaro spodnjega uda (14). Poleg tega so predhodno proučevali veljavnost in ponovljivost ocenjevanja prilagodljivosti hoje (ciljno stopanje in reaktivno izogibanje oviram s pomočjo navidezne resničnosti) s tekočim trakom C-Mill pri osebah po preboleli otroški paralizi (6). Raziskav, ki bi preverjale zanesljivost C-Milla za analizo hoje naravnost, nismo zasledili. Od drugih tekočih trakov s senzorji je bila pri zdravih odraslih za sistem Zebris potrjena visoka zanesljivost merjenja večine časovno-prostorskih spremenljivk hoje (15), za WalkerView™ pa je bila potrjena veljavnost teh spremenljivk v primerjavi z optično-elektronskim sistemom za analizo gibanja (2).

Z razvojem tehnologije, ki omogoča natančno in nezamudno analizo hoje tudi v klinični praksi, narašča proučevanje vpliva različnih dodanih nalog na spremenljivke hoje, na primer različnih kognitivnih nalog (16), sekundarnih motoričnih nalog (17, 18) in pripomočkov za hojo, ki zaradi zahtev po dvojni pozornosti lahko povzročijo spremembo vzorca hoje (19) in povečajo tveganje za padce. Kognitivno-motorična interferenca namreč povzroči poslabšanje izvedbe ene ali obeh nalog v primerjavi z izvedbo vsake naloge posebej (20). Zahtevnejša kot je naloga, večji delež procesne zmogljivosti možganov je potreben. Govorimo o ceni dvojne naloge (20,21). V zadnjih letih narašča tudi zavedanje pomembnosti vadbe prilagodljivosti hoje (*angl.* gait adaptability training) (22). Zato je potrebno razviti standardizirana merilna orodja, ki bodo omogočala zanesljivo in veljavno merjenje sprememb hoje z dodanimi nalogami in prilagodljivosti hoje. Z metaanalizo (23) so ugotovili, da imajo spremenljivke hoje z dodano kognitivno nalogo zmerno do visoko zanesljivost pri zdravih mladih (ICC = 0,50 – 0,87) in starejših odraslih (ICC = 0,52 – 0,68). Zanesljivost cene kognitivne naloge med hojo pa je bila pri zdravih mladih odraslih nizka (ICC = 0,22) (23). Le 13 od 25 raziskav, vključenih v metaanalizo (23), je za merjenje spremenljivk hoje uporabilo elektronske preproge ali pritiskovne plošče, v sedmih raziskavah avtorji niso navedli, kako so merili spremenljivke hoje, v treh raziskavah so uporabili le štoparico in v dveh raziskavah inercialne merilne enote (23). V štirih raziskavah, vključenih v metaanalizo (24-27), so uporabili elektronsko preprogo (GAITRite ali PKMAS). Večinoma je bila zanesljivost spremenljivk hoje visoka do odlična, zanesljivost kognitivnih nalog pa precej nekonsistentna in odvisna od vrste nalog in populacije (24-27). Meritve hoje po tleh, na primer z elektronsko preprogo, dovoljujejo preiskovancu, da zaradi zahtevne dodane naloge prilagodi (upočasni) hitrost hoje (28), medtem ko je pri meritvah na tekočem traku hitrost hoje fiksna, zato se teh meritev ne da povsem enačiti.

Uporaba pripomočkov za hojo predstavlja dodano motorično nalogo ali motorično-kognitivno nalogo, odvisno od vrste pripomočka (19, 29, 30). Pri uporabi pripomočkov za hojo, kot so sprehajalna palica in hodulja s kolesi, se pojavlja vprašanje, ali njihova uporaba vpliva na meritve, pridobljene s pritiskovnimi senzorji na tekočem traku, in posledično na natančnost analize hoje. Kljub temu nismo zasledili raziskave, v kateri bi sistematično

proučevali njihov vpliv na kakovost in zanesljivost meritev. V dveh raziskavah (31,3 2) so preverjali vpliv pripomočkov za hojo na senzorje med hojo po tleh in poročali, da uporaba bergel vpliva na zmožnost ene inercialne merilne enote, nameščene na spodnji del trupa, da pravilno beleži prostorsko-časovne spremenljivke hoje (31) ter da uporaba pripomočkov za hojo vpliva na natančnost senzorjev za merjenje števila korakov (32).

Namen naše raziskave je bil pri zdravih odraslih ugotoviti zanesljivost ponovljenih meritev spremenljivk hoje na tekočem traku C-Mill brez dodane naloge, z dodano motorično nalogo (hodulja s kolesi, poln kozarec), motorično-kognitivno nalogo (sprehajalna palica) in kognitivno nalogo (črkovna fluentnost) ter ugotoviti zanesljivost ponovljene izvedbe kognitivne naloge.

METODE

Raziskava je potekala na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu Republike Slovenija Soča kot drugi del raziskave, predstavljene v predhodnem članku te številke revije Rehabilitacija (30). Zato se del metodologije prekriva.

Preiskovanci

V raziskavi je sodelovalo 31 zdravih preiskovancev (25 žensk), od tega je bilo 22 preiskovancev vključenih v prvi del raziskave (30). Povabljeni so bili preiskovanci, stari med 30 in 65 let, brez znanih mišično-skeletnih ali nevroloških okvar ter drugih motenj, ki bi pomembno vplivale na izvedbo motoričnih ali kognitivnih nalog. Za ugotavljanje zanesljivosti meritev so se preiskovanci udeležili dveh zaporednih testiranj v razmiku 4 do 10 dni.

Raziskavo je odobrila Komisija za strokovno medicinska etična vprašanja URI Soča (št. odločbe 035-1/2025-2/4.7).

Ocenjevalni postopki

Za analizo hoje smo uporabili merilni tekoči trak C-Mill (Motek Medical B.V., Houten, The Netherlands), ki izpolnjuje mednarodne standarde kakovosti medicinskih pripomočkov (certifikat ISO 13485:2016) (33). Uporabili smo enak protokol kot v prvem delu raziskave (30). Najprej so preiskovanci za kognitivno nalogo sede izvedli enominutni test črkovne fluentnosti po standardnem protokolu (34). Nato so se šest minut privajali na hojo po tekočem traku (35), s hitrostjo, ki je ustrezala njihovi sproščeni hoji, izmerjeni s testom hoje na 10 metrov (36). Vrstni red dodanih nalog na tekočem traku je bil določen z žrebom in razporejen po uravnoveženem latinskem kvadratu: hoja brez naloge, hoja s črkovno fluentnostjo, hoja z ukrivljeno palico, hoja s hoduljo s kolesi in hoja s kozarcem vode (voda napolnjena do 1 cm pod robom kozarca) (18, 37). Pri ugotavljanju zanesljivosti smo na tekočem traku uporabili enako hitrost in vrstni red nalog kot pri prvem testiranju, prav tako smo za test črkovne fluentnosti uporabili enako črko kot prvič.

Analiza podatkov

Izračunali smo ceno izvedbe kognitivne naloge med hojo v primerjavi z izvedbo kognitivne naloge med sedenjem po enačbi: cena dvojne naloge = $((DT-ST))/ST \times 100$ (38), pri čemer DT ponazarja spremenljivko pri kognitivni nalogi med hojo, ST pa spremenljivko kognitivne naloge sede. Za oceno zanesljivosti smo izračunali intraklasni korelacijski koeficient (*angl.* intraclass correlation coefficient – ICC) in pripadajoči 95 % interval zaupanja. Vrednosti ICC < 0,5 pomenijo nizko zanesljivost, 0,5 < ICC < 0,75 zmerno, 0,75 < ICC < 0,9 visoko ter ICC > 0,9 odlično zanesljivost (39). Pri kadenci, testu črkovne fluentnosti sede, testu črkovne fluentnosti med hojo naravnost in ceni dvojne naloge smo uporabili dvosmerni mešani model za posamezno meritev ICC (3, 1) z obliko za absolutno skladnost, za oceno zanesljivosti vseh ostalih spremenljivk hoje pa dvosmerni mešani model za povprečje meritev ICC (3, k) z obliko za konsistentnost. Uporabili smo statistični program IBM SPSS Statistics 30 (IBM Corp., Armonk, New York, ZDA, 2023).

REZULTATI

Povprečna starost preiskovancev je bila 43 let (SO 9 let, razpon 30–61 let).

Zanesljivost

Zanesljivost ponovljenih meritev večine spremenljivk hoje v vseh testnih pogojih se je izkazala za odlično (ICC = 0,91–0,99). Zanesljivost trajanje faze zamaha levo in desno pri vseh testnih pogojih je bila visoka, razen pri hoji s kognitivno nalogo, pri kateri je bila zmerna (Tabela 1).

Zanesljivosti ponovljene izvedbe testa črkovne fluentnosti v mirovanju - sede (ICC = 0,62; 95 % IZ: 0,34–0,80) in naloge črkovne fluentnosti med hojo naravnost (ICC = 0,60; 95 % IZ: 0,32–0,79) sta bili zmerni, zanesljivost cene črkovne fluentnosti med hojo naravnost pa je bila nizka (ICC = 0,42; 95 % IZ: 0,07–0,67).

RAZPRAVA

V naši raziskavi smo ugotovili odlično zanesljivost ponovljenih meritev hoje naravnost s tekočim trakom C-Mill za večino časovno-prostorskih spremenljivk hoje, v vseh testnih pogojih.

Zanesljivost spremenljivk hoje brez dodane naloge je bila odlična (ICC > 0,94); razen pri trajanju faze zamaha levo in desno je bila zanesljivost visoka (ICC = 0,82). Ugotovitve so v skladu z raziskavami zanesljivosti časovno-prostorskih spremenljivk hoje na tekočem traku Zebris (15, 40). Poročali so o visoki do odlični (ICC = 0,85–0,98) zanesljivosti ponovljenih meritev (v razmiku 30 minut in sedem dni) kadence, širine in dolžine koraka, trajanja faze zamaha in trajanja enojne ter dvojne opore pri zdravih starejših odraslih ($n = 20$; starost $64,8 \pm 3,2$ let) (15) ter odlični (ICC > 0,94) zanesljivosti ponovljenih meritev (v razmiku sedem

Tabela 1. Zanesljivost spremenljivk hoje med hojo po tekočem traku brez dodane naloge in med hojo z različnimi dodanimi nalogami pri zdravih odraslih.**Table 1.** Reliability of gait variables during walking on a treadmill without an additional task and with various additional tasks in healthy adults.

ICC [95 % IZ]/ ICC [95 % CI]	Hoja brez/ walking without tasks	Hoja s ČF/ walking with ČF	Hoja s HK/ walking with HK	Hoja s PK/ walking with PK	Hoja s SP/ walking with SP
Kadenca [št. korakov/min]/ Cadence [n of steps/min]	0,94 (0,88–0,97)	0,96 (0,92–0,98)	0,91 (0,83–0,96)	0,97 (0,94–0,99)	0,96 (0,91–0,98)
Dolžina levega koraka/ Left step length [m]	0,98 (0,96–0,99)	0,98 (0,96–0,99)	0,97 (0,95–0,99)	0,98 (0,97–0,99)	0,98 (0,97–0,99)
Dolžina desnega koraka/ Right step length [m]	0,98 (0,97–0,99)	0,99 (0,98–1,00)	0,98 (0,96–0,99)	0,98 (0,96–0,99)	0,95 (0,89–0,97)
Trajanje faze zamaha levo/ Left swing phase [%]	0,82 (0,62–0,91)	0,75 (0,48–0,88)	0,82 (0,63–0,92)	0,81 (0,61–0,91)	0,83 (0,65–0,92)
Trajanje faze zamaha desno/ Right swing phase [%]	0,82 (0,62–0,91)	0,75 (0,43–0,88)	0,82 (0,63–0,92)	0,81 (0,61–0,91)	0,83 (0,65–0,92)
Trajanje opore levo/ Left swing phase [s]	0,97 (0,94–0,99)	0,96 (0,92–0,98)	0,98 (0,95–0,99)	0,98 (0,97–0,99)	0,99 (0,97–0,99)
Trajanje faze opore desno/ Right swing phase [%]	0,96 (0,91–0,98)	0,98 (0,97–0,99)	0,97 (0,94–0,99)	0,98 (0,97–0,99)	0,98 (0,96–0,99)
Trajanje faze opore levo/ Left swing phase [%]	0,97 (0,94–0,99)	0,95 (0,89–0,97)	0,92 (0,84–0,98)	0,96 (0,91–0,98)	0,98 (0,95–0,99)
Trajanje faze opore desno/ Right swing phase [%]	0,95 (0,90–0,98)	0,94 (0,89–0,97)	0,96 (0,92–0,98)	0,95 (0,90–0,98)	0,97 (0,93–0,98)
Širina korakov/ Step width [m]	0,95 (0,90–0,98)	0,94 (0,87–0,97)	0,96 (0,91–0,98)	0,94 (0,88–0,97)	0,96 (0,91–0,98)

Legenda/Legend: ČF – črkovna fluentnost/verbal fluency; PK – poln kozarec/full glass; SP – sprehajalna palica/walking stick; HK – hodulja s kolesi/rollator; ICC – intraklasni korelacijski koeficient/intraclass correlation coefficient; IZ – interval zaupanja; CI – confidence interval

dni) kadence, dolžine koraka in trajanja dvojnega koraka, prav tako pri zdravih starejših odraslih ($n = 24$; starost $75,3 \pm 6,7$ leta) (40). Enako kot v naši raziskavi so hitrost hoje po tekočem traku določili na podlagi sproščene hitrosti posameznega preiskovanca po tleh in je bila enaka pri vseh merjenjih (15, 40).

V naši raziskavi je bila zanesljivost spremenljivk hoje z dodano nalogo črkovne fluentnosti odlična ($ICC > 0,94$), razen za trajanje faze zamaha (levo in desno), pri čemer je bila zanesljivost visoka ($ICC = 0,75$). Hoja po tekočem traku z dodano kognitivno nalogo se uspešno uporablja pri testiranju, vadbi in rehabilitaciji (41–43), primanjkuje pa raziskav, v katerih bi preverjali zanesljivosti meritev dodane kognitivne naloge med hojo na tekočem traku. Odlično zanesljivost ponovljenih meritev z elektronsko preprogo GAITRite so poročali za hitrosti hoje ($ICC > 0,95$) pri hoji z dodano nalogo črkovne fluentnosti (naštevanje živali, naštevanje rastlin in recitiranje abecede) pri osebah z demenco ($n = 105$; povp. starost 82,7, SO 5,9 let) (26). Prav tako za meritve z elektronsko preprogo GAITRite, so poročali o zmerni do odlični zanesljivosti ponovljenih meritev hitrosti, kadence, dolžine in širine koraka, trajanja zamaha, trajanja dvojnega koraka med hojo sproščene hitrosti z dodanim Stroopovim testom ($ICC = 0,86–0,95$) in te-

stom razpona števil (*angl.* digit span test) ($ICC = 0,86–0,95$) pri pacientih s Parkinsonovo boleznijo ($n = 62$; povp. starost 66,2, SO 9,8 let) (27). Najpogosteje se kot dodana kognitivna naloga uporablja odštevanje, ki je bilo uporabljeno v 17 raziskavah, vključenih v meta analizo (23), v 13 vključenih raziskavah pa so uporabili črkovno fluentnost. Pri pacientih z multiplo sklerozo in zdravih kontrolnih skupinah so z elektronsko preprogo (GAITRite ali PKMAS) ugotavljali zanesljivost hoje z odštevanjem števila sedem (24, 25). Meritve so pokazale visoko do odlično zanesljivost ($ICC = 0,77–0,99$) za hitrost hoje, kadenco, dolžino dvojnega koraka, širino koraka, trajanje zamaha, opore in dvojne opore pri pacientih z multiplo sklerozo ($n = 58$, povp. starost 50,7, SO 11,9 let; $n = 18$, povp. starost 49,7, SO 12,2 let) in zdravih odraslih ($n = 19$, povp. starost 46,6, SO 8,6 let; $n = 12$, povp. starost 51,3, SO 12,0 let) v razmiku 7–14 dni (24, 25). Zato menimo, da bi bilo smiselno preveriti še zanesljivost ponovljenih meritev spremenljivk hoje na C-Millu pri dodani nalogi odštevanja.

Prav tako je bila v naši raziskavi zanesljivost spremenljivk hoje s polnim kozarcem vode odlična ($ICC > 0,94$), razen za trajanje faze zamaha (levo in desno), pri katerem je bila zanesljivost visoka ($ICC = 0,81$). Hoja s polnim kozarcem se je v predhodni raziskavi

že izkazala za zanesljivo. Poročali so o visoki zanesljivosti ponovljenih meritev hitrosti hoje po tleh s polnim kozarcem vode (voda 1 cm pod robom) pri pacientih po možganski kapi ($n = 88$; povp. starost 62,6, SO 7,8 let) ($ICC = 0,80$) (44).

Podobno je bila v naši raziskavi odlična tudi zanesljivost spremenljivk hoje s pripomočki (sprehajalna palica in hodulja s kolesi) ($ICC > 0,91$), razen za trajanje faze zamaha (levo in desno), pri katerem je bila zanesljivost visoka ($ICC = 0,82-83$). Kljub potrjeni zanesljivosti naprave C-Mill pri meritvah hoje moramo biti pri interpretaciji rezultatov, zlasti pri meritvah hoje s pripomočki (ali združevanju meritev preiskovancev, ki hodijo s pripomočki za hojo in tistimi, ki hodijo brez njih), previdni. Pritiskovni senzorji tekočega traku C-Mill namreč ne merijo neposredno obremenitev pod stopali, temveč položaj stopal določajo posredno – na podlagi premikanja projekcije težišča telesa (točke COP – *angl.* center of pressure), izračunane iz osmih točkovnih senzorjev, nameščenih ob robovih tekočega traku. Če preiskovanec uporablja pripomoček za hojo (npr. berglo ali sprehajalno palico), se s pritiskom pripomočka ob podlago spremeni izračunana projekcija težišča, kar vpliva na navidezno pozicijo in dinamiko stopal. Zaradi tega so lahko meritve časovno-prostorskih spremenljivk, kot so dolžina koraka, kadenca in trajanje faze opore, pri hoji s pripomočkom delno neveljavne. Statistično značilne razlike med hojo s pripomočkom in hojo brez pripomočka, ugotovljene v naši raziskavi (28), je zato vsaj delno mogoče pripisati vplivu motenj v izračunu COP zaradi stika pripomočka s podlago. V nasprotju z napravo C-Mill, elektronska preproga GAITRite neposredno meri položaj in porazdelitev pritiskov pod stopali z več kot tisoč v mrežo razporejenimi tlačno občutljivimi senzorji. Zaradi takšnega načina merjenja, ki omogoča bolj neposredno merjenje časovno-prostorskih spremenljivk hoje, je bila pri uporabi sistema GAITRite ugotovljena odlična zanesljivost ($ICC = 0,90-0,94$) ponovljenih meritev trajanja koraka, dolžine koraka (levo) in visoka zanesljivost ($ICC = 0,82-0,88$) ponovljenih meritev za hitrost hoje, kadenco, trajanja faze opore in dvojne opore ter dolžine koraka (desno) med testom hoje na 10 metrov pri otrocih z različnimi nevrološkimi stanji ($n = 30$; povp. starost 13,0, SO 3,6 let) (45). Triindvajset otrok je hodilo samostojno, sedem s pripomočki (hodulja, štiritočkovna hodulja in bergle) in 12 z ortozami. Avtorji (45) so izpostavili, da so nekatere meritve morali urediti in izbrisati korake, ki so bili nejasno zapisani, kar je povzročilo dovzetnost za pristranost rezultatov, vendar pa niso skleпали, da bi na meritve lahko vplivala uporaba pripomočkov za hojo. Predvidevamo, da tudi sistem GAITRite še ne odstrani pritiskov pripomočkov pri hoji iz izračuna avtomatično.

Poleg zanesljivosti analize hoje s tekočim trakom C-Mill smo ugotovili zmerno zanesljivost ponovljene izvedbe testa črkovne fluentnosti v mirovanju - sede ($ICC = 0,62$) in naloge črkovne fluentnosti med hojo naravnost ($ICC = 0,60$) ter nizko zanesljivost cene črkovne fluentnosti med hojo naravnost ($ICC = 0,42$). Glede na literaturo je zanesljivost ponovljene izvedbe naloge črkovne fluentnosti precej raznolika, tudi znotraj posameznih populacij (23). Pri zdravih odraslih so med časovno merjenim testom vstani in pojdi ugotovili nizko zanesljivost cene črkovne fluentnosti za naštevanje živali ($ICC = 0,34$) in naštevanje mesecev v obratnem

vrstnem redu ($ICC = 0,39$) ($n = 43$; povp. starost 69,3, SO 11,1 let) (46). Med tem ko so pri starejših odraslih z večjim tveganjem za padce ($n = 21$; povp. starost 81,0, SO 12,5 let) in starejših odraslih z majhnim tveganjem za padce ($n = 24$; povp. starost 74,5, SO 9,8 let) ugotovili nizko do visoko zanesljivost testa črkovne fluentnosti v mirovanju ($ICC = 0,34-0,76$) in kot dodane naloge med hojo po tleh (hoja z obrati, hoja med ovirami) in hojo po stopnicah ($ICC = 0,49-0,79$) (47).

Prednost naše raziskave je objektivno merjenje spremenljivk hoje z merilnim tekočim trakom. Med omejitve raziskave bi lahko umestili velik starostni razpon preiskovancev, ki bi lahko vplival na večji razpon časovno-prostorskih spremenljivk hoje. Posploševanje ugotovitev raziskave je omejeno na zdrave odrasle v starosti od 30 do 65 let.

ZAKLJUČEK

Zanesljivost analize hoje s tekočim trakom C-Mill za hojo naravnost brez dodane naloge in z dodanimi nalogami (poln kozarec vode in črkovna fluentnost) ali pripomočki za hojo (sprehajalna palica in hodulja s kolesi) je pri zdravih odraslih odlična za večino časovno-prostorskih spremenljivk, medtem ko je za trajanje faze zamaha visoka. Zmerna zanesljivost ponovljene izvedbe testa črkovne fluentnosti v mirovanju in nizka zanesljivost njene cene, ko je dodana hoji naravnost po tekočem traku, kažeta na potrebo po nadaljnem ugotavljanju najprimernejših kognitivnih nalog pri testiranju vpliva deljene pozornosti na hojo. Naša raziskava potrjuje, da je uporaba tekočega traku C-Mill zanesljiva metoda za analizo hoje in njenih odzivov na različne dodane naloge. Rezultati nudijo podlago za raziskave pri populacijah z večjim tveganjem za padce.

Literatura:

1. Scataglini S, Abts E, Van Bocxlaer C, Van den Bussche M, Meletani S, Truijen S. Accuracy, validity, and reliability of markerless camera-based 3D motion capture systems versus marker-based 3D motion capture systems in gait analysis: a systematic review and meta-analysis. *Sensors* (Basel). 2024;24(11):3686.
2. Bravi M, Massaroni C, Santacaterina F, Di Tocco J, Schena E, Sterzi S, et al. Validity analysis of WalkerView™ instrumented treadmill for measuring spatiotemporal and kinematic gait parameters. *Sensors*. 2021;21(14):4795.
3. Simon SR. Quantification of human motion: gait analysis - benefits and limitations to its application to clinical problems. *J Biomech*. 2004;37(12):1869-80.
4. Parati M, Ambrosini E, De Maria B, Gallotta M, Dalla Vecchia LA, Ferriero G, et al. The reliability of gait parameters captured via instrumented walkways: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2022;58(3):363-77.
5. Sanders O, Wang B, Kontson K. Concurrent validity evidence for pressure-sensing walkways measuring spatiotemporal features of gait: a systematic review and meta-analysis. *Sensors*. 2024;24(14):4537.

6. Tuijelaars J, Brehm MA, Nollet F, Roerdink M. Validity and reproducibility of C-Mill walking-adaptability assessment in polio survivors. *Gait Posture*. 2022;96:314-21.
7. Motek. C-Mill therapy guide. Version 8.0. Amsterdam: Motek Medical B.V.; 2020.
8. Tuijelaars J, Roerdink M, Raijmakers B, Nollet F, Brehm MA. Polio survivors have poorer walking adaptability than healthy individuals. *Gait Posture*. 2021;87:143-8.
9. Heeren A, van Ooijen M, Geurts AC, Day BL, Janssen TW, Beek PJ, et al. Step by step: a proof of concept study of C-Mill gait adaptability training in the chronic phase after stroke. *J Rehabil Med*. 2013;45(7):616-22.
10. Timmermans C, Roerdink M, Meskers CG, Beek PJ, Janssen TW. Walking-adaptability therapy after stroke: results of a randomized controlled trial. *Trials*. 2021;22(1):923.
11. Pisano F, Mellace D, Fugatti A, Aiello EN, Diotti S, Curti B, et al. Cerebellar tDCS combined with augmented reality treadmill for freezing of gait in Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2024;21(1):173.
12. Pullia M, Ciatto L, Andronaco G, Donato C, Aliotta RE, Quartarone A, et al. Treadmill training plus semi-immersive virtual reality in Parkinson's disease: results from a pilot study. *Brain Sci*. 2023;13(9):1312.
13. Abd El-Kafy EM, Alayat MS, Subahi MS, Badghish MS. Motion tracking virtual reality technology in improving gait in the elderly: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2024;38(4):520-9.
14. Marom P, Brik M, Agay N, Dankner R, Katzir Z, Keshet N, et al. The reliability and validity of the OneStep smartphone application for gait analysis among patients undergoing rehabilitation for unilateral lower limb disability. *Sensors*. 2024;24(11):3594.
15. Faude O, Donath L, Roth R, Fricker L, Zahner L. Reliability of gait parameters during treadmill walking in community-dwelling healthy seniors. *Gait Posture*. 2012;36(3):444-8.
16. Al-Yahya E, Dawes H, Smith L, Dennis A, Howells K, Cockburn J. Cognitive motor interference while walking: a systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2011;35(3):715-28.
17. Brach JS, Vanswearingen JM. Interventions to improve walking in older adults. *Curr Transl Geriatr Exp Gerontol Rep*. 2013;2(4):242-7.
18. Brustio PR, Rabaglietti E, Formica S, Liubicich ME. Dual-task training in older adults: the effect of additional motor tasks on mobility performance. *Arch Gerontol Geriatr*. 2018;75:119-24.
19. Puh U. Pripomočki za hojo: pogostost in učinki uporabe pri ljudeh s telesnimi okvarami – pregled literature. *Rehabilitacija*. 2019;18(1):159-67.
20. He Y, Yang L, Zhou J, Yao L, Pang MYC. Dual-task training effects on motor and cognitive functional abilities in individuals with stroke: a systematic review. *Clin Rehabil*. 2018;32(7):865-77.
21. Plummer P, Eskes G, Wallace S, Giuffrida C, Fraas M, Campbell G, et al. Cognitive-motor interference during functional mobility after stroke: state of the science and implications for future research. *Arch Phys Med Rehabil*. 2013;94(12):2565-74.
22. Nørgaard JE, Jørgensen MG, Ryg J, Andreasen J, Danielsen MB, Steiner DK, et al. Effects of gait adaptability training on falls and fall-related fractures in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Age Ageing*. 2021;50(6):1914-24.
23. Pike A, McGuckian TB, Steenbergen B, Cole MH, Wilson PH. How reliable and valid are dual-task cost metrics? A meta-analysis of locomotor-cognitive dual-task paradigms. *Arch Phys Med Rehabil*. 2023;104(2):302-14.
24. Chen A, Kirkland MC, Wadden KP, Wallack EM, Ploughman M. Reliability of gait and dual-task measures in multiple sclerosis. *Gait Posture*. 2020;78:19-25.
25. Decavel P, Moulin T, Sagawa Y Jr. Gait tests in multiple sclerosis: reliability and cut-off values. *Gait Posture*. 2019;67:37-42.
26. Lemke NC, Wiloth S, Werner C, Hauer K. Validity, test-retest reliability, sensitivity to change and feasibility of motor-cognitive dual task assessments in patients with dementia. *Arch Gerontol Geriatr*. 2017;70:169-79.
27. Strouwen C, Molenaar EA, Keus SH, Münks L, Bloem BR, Nieuwboer A. Test-retest reliability of dual-task outcome measures in people with Parkinson disease. *Phys Ther*. 2016;96(8):1276-86.
28. Močilar M, Jakovljević M. Vpliv dodane naloge na porabo časa za hojo zdravih starejših odraslih. *Fizioterapija*. 2025;33(1):49-56.
29. Hunter SW, Divine A, Omana H, Wittich W, Hill KD, Johnson AM, et al. Effect of learning to use a mobility aid on gait and cognitive demands in people with mild to moderate Alzheimer's disease: Part I - Cane. *J Alzheimers Dis*. 2019;71(s1):S31-43.
30. Močilar M, Čizman Štaba U, Puh U. Vpliv različnih dodanih nalog na spremenljivke hoje pri zdravih odraslih. *Rehabilitacija*. 2025;25(2) [v tisku].
31. Bravi M, Gallotta E, Morrone M, Maselli M, Santacaterina F, Togliola R, et al. Concurrent validity and inter-trial reliability of a single inertial measurement unit for spatial-temporal gait parameter analysis in patients with recent total hip or total knee arthroplasty. *Gait Posture*. 2020;76:175-81.
32. Kooner P, Schubert T, Howard JL, Lanting BA, Teeter MG, Vasarhelyi EM. Evaluation of the effect of gait aids, such as canes, crutches, and walkers, on the accuracy of step counters in healthy individuals. *Orthop Res Rev*. 2021;13:1-8.
33. International Organization for Standardization. ISO 13485:2016 – Medical devices: quality management systems – requirements for regulatory purposes. Geneva: ISO; 2016. Dostopno na: <https://www.iso.org/standard/59752.html> (citirano 13. 8. 2025).
34. Delis DC, Kaplan E, Kramer JH. Delis-Kaplan Executive Function System (D-KEFS): examiner's manual. San Antonio: The psychological corporation; 2001.
35. Matsas A, Taylor N, McBurney H. Knee joint kinematics from familiarised treadmill walking can be generalised to overground walking in young unimpaired subjects. *Gait Posture*. 2000;11(1):46-53.
36. Puh U. Test hoje na 10 metrov. *Fizioterapija*. 2014;22(1):45-54.
37. Ansai JH, Aurichio TR, Gonçalves R, Rebelatto JR. Effects of two physical exercise protocols on physical performance related to falls in the oldest old: a randomized controlled trial. *Geriatr Gerontol Int*. 2016;16(4):492-9.
38. Winding S, Shin DGD, Rogers CJ, et al. Referent values for commonly used clinical mobility tests in black and white adults aged 50-95 years. *Arch Phys Med Rehabil*. 2023;104(9):1474-83.
39. Portney LG, Watkins MP. Foundations of clinical research: applications to practice. 3rd ed. Philadelphia: F.A. Davis; 2015.
40. Donath L, Faude O, Lichtenstein E, Pagenstert G, Nüesch C, Mündermann A. Mobile inertial sensor based gait analysis: validity and reliability of spatiotemporal gait characteristics in healthy seniors. *Gait Posture*. 2016;49:371-4.

41. Chai KX, Goodwill AM, Leuk JS, Teo WP. Treadmill walking maintains dual-task gait performance and reduces frontopolar cortex activation in healthy adults. *Neuroscience*. 2023;521:148-56.
42. Lin YP, Lin II, Chiou WD, Chang HC, Chen RS, Lu CS, et al. Optimizing rehabilitation strategies in Parkinson's disease: a comparison of dual cognitive-walking treadmill training and single treadmill training. *Sci Rep*. 2024;14(1):25210.
43. Wrightson JG, Schäfer L, Smeeton NJ. Dual-task prioritization during overground and treadmill walking in healthy adults. *Gait Posture*. 2020;75:109-14.
44. Yang L, He C, Pang MY. Reliability and validity of dual-task mobility assessments in people with chronic stroke. *PLoS One*. 2016;11(1):e0147833.
45. Graser JV, Letsch C, van Hedel HJA. Reliability of timed walking tests and temporo-spatial gait parameters in youths with neurological gait disorders. *BMC Neurol*. 2016;16:15.
46. Åhman HB, Berglund L, Cedervall Y, Giedraitis V, McKee KJ, Rosendahl E, et al. Timed "up & go" dual-task tests: age- and sex-specific reference values and test-retest reliability in cognitively healthy controls. *Phys Ther*. 2021;101(10):pzab179.
47. Muhaidat J, Kerr A, Evans JJ, Skelton DA. The test-retest reliability of gait-related dual task performance in community-dwelling fallers and non-fallers. *Gait Posture*. 2013;38(1):43-50.