

# Primerjava zasukov medenice med dvema različnima vodenjema vrtečega se tekočega traku s hojo po tleh

Janez Pavčič, Matjaž Zadavec, Andrej Olenšek, Zlatko Matjačić

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča  
Linhartova 51, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: janez.pavcic@ir-rs.si, matjaz.zadavec@ir-rs.si, andrej.olensek@ir-rs.si, zlatko.matjacic@ir-rs.si

## Comparison of pelvic rotations during two different types of treadmill control with overground walking

*We developed a treadmill which is capable of rotating around vertical axis (yaw rotation). Rotating treadmill was equipped with pelvic support mechanism with incorporated inclinometers through which steering was achieved. Two different modes to initiate treadmill rotation were applied: a) inclination of pelvis to the left or to the right and b) rotation of pelvis around vertical axis.*

*In this preliminary study we compared rotations (of feet and pelvis) during two modes of controlling rotating treadmill with overground turning of one volunteer. Data was collected using Xsens inertial sensors. Although there are fundamental differences in feet rotations during overground turning when compared to treadmill turning, there are some similarities in pelvic rotations.*

### 1 Uvod

Osnovni način premikanja zdravega človeka po prostoru je hoja. Način hoje se s staranjem ali zaradi bolezni poslabša kot posledica zmanjšanja gibljivosti, manjše mišične moči, slabšega delovanja vestibularnega aparata ali prizadetega živčnega sistema (kap, fizična poškodba) [1,2].

Osebam s težavami pri hoji je potrebno nuditi ustrezno vadbo v varnem okolju. V ta namen je bilo razvitih več vrst robotsko podprtih naprav (Lokomat, AutoAmbulator, Haptic Walker), kjer robotski mehanizmi v sodelovanju s človekom premikajo spodnje okončine. Omenjene naprave nudijo tudi sisteme za razbremenitev telesne teže kot tudi držala za roke, ki povečujejo občutek varnosti in hkrati nastavljajo primerno težavnost med vadbo. Del omenjenih sistemov ima vgrajen tudi tekoči trak po katerem oseba 'hodi'. Tekoči trak je uveljavljen pripomoček pri rehabilitaciji hoje, saj nudi vadbo hoje na omejenem prostoru pri ponovljivih pogojih (hitrost). Nekateri raziskovalci so ugotovili, da je hoja naravnost po tekočem traku primerljiva s hojo naravnost po tleh glede kinetike in kinematike, če so osebe seznanjene s hojo po tekočem traku, ki ima konstantno hitrost [3,4].

Spreminjanje smeri med hojo je v primerjavi s hojo naravnost manj raziskano in manj izvajano med rehabilitacijo. Trening spreminjanja smeri hoje se izvaja

večinoma s pomočjo dveh ali več fizioterapevtov med hojo po tleh. Robotsko podprta rehabilitacija spreminjanja smeri med hojo je praktično neobstoječa.

Ker obstaja potreba po napravi, ki bi omogočala vadbo hoje s spreminjanjem smeri, smo običajen tekoči trak prilagodili tako, da omogoča rotacijo okoli navpičnice. Napravo smo opremili s senzori in razvili dva načina vodenja vrtečega se tekočega traku. Prvi način je z odmikom uporabnika v smeri levo-desno od centra traku, drugi način pa je z rotacijo medenice okoli navpičnice v zeleno smer (v levo ali desno). Za primerjavo smo opravili tudi meritev hoje po tleh, kjer je moral preiskovanec obhoditi označen krog.

### 2 Opis vrtečega se tekočega traku

Vrteči se tekoči trak je sestavljen iz treh osnovnih delov: podlage, nosilnega ogrodja in tekočega traku. Podlago sestavljajo opazne plošče s površino 4 m<sup>2</sup> (2×2 m). Na sredini podlage je pritrjena os vrtenja, na katero je preko ležaja nasajeno kovinsko nosilno ogrodje sestavljeno iz aluminijastih profilov. Ker je podlaga nepremična glede na vrteče se ogrodje, je za prevajanje elektrike uporabljen sistem ščetk. Ogrodje stoji na dveh večjih in šestih manjših kolesih. Eno od večjih koles je pogonsko in je preko sistema jermenic in jermena povezano z elektromotorjem moči 100 W. Prestavno razmerje jermenic je bilo izbrano tako, da se je ob zmanjšani kotni hitrosti povečal navor na pogonskem kolesu. Vsa kolesa so usmerjena, tako da omogočajo neovirano kroženje. Izbran tekoči trak (140×90 cm) je širši od komercialno dobavljivih tekočih trakov, tako da omogoča bolj naravno spreminjanje smeri med hojo po traku. Trak poganja elektromotor z močjo 1,68 kW.

Na nosilno ogrodje je pritrjena medenična opora ter osebni računalnik z monitorjem. Medenična opora minimalno omejuje naraven način hoje uporabnika, hkrati pa zagotavlja večjo varnost ob kratkotrajnih izgubah ravnotežja. Sestavni del opornega sistema je vzmet preko katere je opora pritrjena na rotirajočo platformo. Vzmet je bila izbrana tako, da je osebi omogočala neovirano gibanje v smeri naprej-nazaj in levo-desno. Mehanizem medenične opore omogoča tudi rotacijo okoli navpičnice in tako dovoljuje naravno gibanje medenice. Na dosegu rok uporabnika je tudi stikalo za prisilno zaustavitev naprave, ki prekine linearno in rotacijsko gibanje traku. Naprava je prikazana na sliki 1.



Slika 1: Vrteči se tekoči trak z medenično oporo.

## 2.1 Vodenje naprave

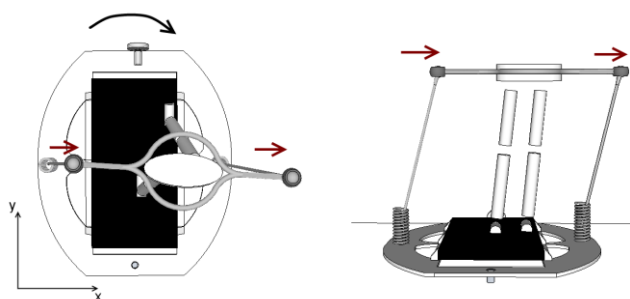
Za vodenje naprave smo potrebovali 2 analogna signala s katerima smo krmilili linearno in kotno hitrost tekočega traku. Uporabili smo I/O kartico NI 6025-E, ki na izhodu daje napetost v območju od -10 V do +10 V. Ob spremembi polaritete krmilnega signala kotne hitrosti se spremeni tudi smer vrtenja traku. Enakomerno kotno hitrost ohranja krmilnik (Maxon ADS 50/10), ki glede na signale inkrementalnega enkoderja ustrezno spreminja izhodno napetost. Linearno hitrost traku krmilimo z enosmerno napetostjo od 0 do 5V.

Oseba upravlja s trakom preko medenične opore. Na navpičnih nosilcih medenične opore sta pritrjena dva senzorja nagiba, ki merita odklon v smeri naprej-nazaj in levo-desno. Delujeta na principu spreminjanja kapacitivnosti v odvisnosti od pospeška. Oseba, ki je vpeta v medenično oporo krmili trak z nagibom levo-desno (LD: prvi način vodenja) ali z zasukom (rotacijo) medenice okoli navpičnice (ROT: drugi način vodenja). Oba načina vodenja sta prikazana na slikah 2 in 3. Senzorja nagiba pošiljata podatke Matlab/Simulink-u z uporabo UDP-ja.

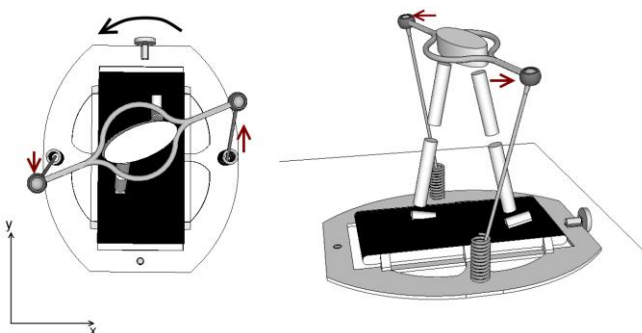
Program (Simulink) prejme izhode s senzorjev naklona, jih filtrira z nizkofrekvenčnim filtrom in išče značilke signalov hoje. Protokol hoje se prikazuje na zaslonu v obliki puščic, ki usmerjajo človeka k hoji naravnost, v levo ali desno smer. Protokol je sledeč: prvih 20 sekund poteka hoja naravnost, sledi ji 10 sekund hoje v levo nato spet hoja naravnost (10 s), kateri sledi hoja v desno (10 s). Sposobnosti vodenja naprave se med posamezniki razlikujejo in so odvisne od lastnosti kot so telesna višina in fizična moč. Zato se program prilagaja vsakemu uporabniku posebej. Prvo minuto hoje po traku program zabeleži maksimalne odmike v smeri levo-desno od centra traku (prvi način vodenja) ali največje zasuke medenice (drugi način vodenja). Potem je določen prag za začetek zavoja v izbrano smer kot delež od največjega odmika/zasuka. Pri prvem načinu detekcije zavijanja se signala

senzorjev ojačita s seštevanjem v smeri x osi (slika 2). Pri drugem načinu vodenja pa se odčita odklon medenične opore od centra traku v smeri naprej-nazaj, ki ga povzroči sukanje medenice okoli navpičnice in ne neposreden zasuk medenice v stopinjah. Pri zavijanju v levo se v idealnem primeru leva stran medenične opore premakne nazaj od centra traku, desna stran pa naprej od centra traku, kot prikazuje slika 3. Signala sta nato ojačena z odštevanjem v smeri y osi.

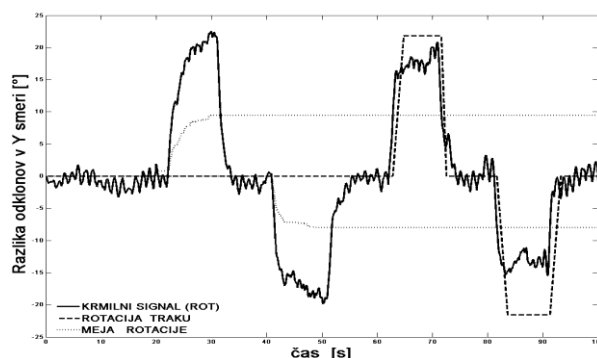
Signala s katerima človek vodi vrteči se trak s prvim ali drugim načinom vodenja sta podobna. Princip je zato razložen na primeru vodenja z rotacijo, ampak velja za oba načina (LD in ROT). Slika 4 prikazuje signal s katerim oseba krmili rotacijo traku pri vodenju z rotacijo medenice. Med prvim zavojem v levo je detektiran maksimum, ki je nato pomnožen s konstanto ( $k=0.42$ ), izračunana vrednost predstavlja mejo zavoja v levo. Konstanta je bila določena med razvojno fazo in je primerna za večje število uporabnikov. Na enak način se izračuna tudi meja za zavoj v desno, ki je na sliki ponazorjena s pikčasto črto negativne vrednosti.



Slika 2: Vodenje z nagibom levo-desno (LD).



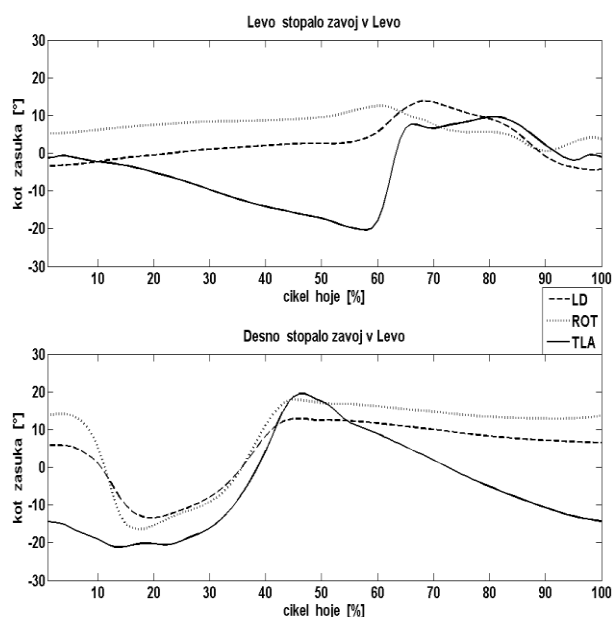
Slika 3: Vodenje z rotacijo medenice (ROT).



Slika 4: Krmilni signal, meji začetka rotacije in rotacija traku.



vrednosti zasuka trupa odšteli od zasukov stopal in medenice. Na slikah 7 in 8 je vrednost trupa stalno 0°.



Slika 7: Zasuki stopal glede na orientacijo trupa.

Na sliki 7 so prikazani zasuki stopal pri vseh treh načinih hoje glede na orientacijo trupa. Opazi se večja podobnost zasukov stopal med hojo po traku v primerjavi s hojo po tleh. Pri zavijanju v levo lahko levo stopalo imenujemo notranje stopalo, ker je bližje centru kroženja kot desno stopalo, ki ga poimenujemo zunanje stopalo. Slika 7 izkazuje večjo medsebojno podobnost zasuka zunanjega stopala glede na trup v primerjavi z notranjim stopalom v smislu padanja (0-14%), naraščanju do maksimuma (19-46%) in spet padanja (46-100%). Zasuk levega stopala pri hoji po traku prehiteva zasuk trupa v večjem delu cikla (LD: 65%, ROT: 100%) kot pri hoji po tleh (28%). Delež cikla hoje med katerim desno stopalo prehiteva trup je večji pri hoji po traku: 74% (LD), 76% (ROT) in 35% (TLA).

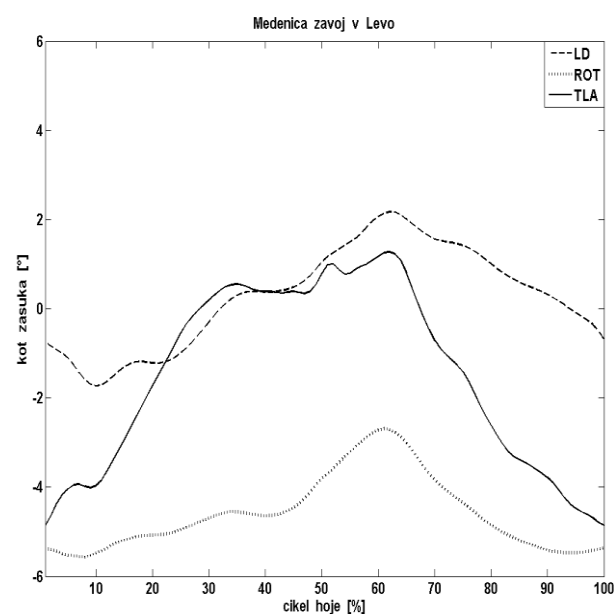
Slika 8 prikazuje zasuk medenice prikazan glede na zasuk trupa pri hoji po traku in hoji po tleh. Na prvi pogled se opazi večja podobnost med načinoma hoje (trak, tla) kot pri zasukih stopal. Vsi trije prikazani grafi na začetku in koncu cikla hoje zaostajajo za zasukom trupa, kar je posledica trenutka dostopa leve noge med zavijanjem v levo. Razviden je tudi večji obseg gibanja medenice glede na trup pri hoji po tleh (6.1°) v primerjavi s hojo po traku, kjer je večji med vodenjem z nagibom levo-desno (3.9°). Pri vodenju z rotacijo medenice opazimo, da zasuk medenice zaostaja za zasukom trupa skozi celoten cikel hoje. Pri hoji po tleh začne medenica prehitevati trup od 29 do 68%, pri hoji po traku z vodenjem levo-desno pa od 33 do 94%.

## 5 Zaključek

Predvsem na podlagi rezultatov zasukov stopal lahko sklepamo, da obstajajo razlike med hojo po traku in

hojo po tleh. Te so večinoma posledica ohranjanja orientacije zasuka stopal pri hoji po tleh na eni strani in konstantnem spreminjanju zasukov pri hoji po vrtečem se traku. Pri hoji po traku z vodenjem z nagibom (LD) je na začetku cikla hoje možno opaziti večji padec v okolici 10% cikla hoje, kar se razlikuje od ostalih dveh načinov hoje, kjer je padec minimalen (ROT) oziroma je prisotna rast (TLA). V tem oziru sta si grafa hoje po tleh in hoje po traku z rotacijo medenice bolj podobna. Iz tega sklepamo, da je omenjeni način vodenja tekočega traku ustreznejši.

Da bi potrdili omenjeni zaključek izvedene predhodne študije, je potrebno vključiti večje število merjenih oseb.



Slika 8: Zasuki medenice glede na orientacijo trupa.

## Literatura

- [1] N.K. Latham, D.U. Jette, M. Slavin: Physical therapy during stroke rehabilitation for people with different walking abilities. Arch. Phys. Med. Rehabil. 2005; 86:41-50.
- [2] W. Dite, V.A. Temple: Development of a clinical measure of turning for older adults. Am J Phys Med Rehabil 2002; 81:857-867.
- [3] P. Riley, G. Paolini, U. Della Croce, K.W. Paylo, D.C. Kerrigan: A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy subjects. Gait&Posture 2007; 26:17-24.
- [4] J.S. Lee, J. Hidler: Biomechanics of overground vs. treadmill walking in healthy individuals. J Appl Physiol 2008; 104:747-755.