

Pregledni znanstveni članek ■

## Rehabilitacijska vadba hoje po tleh in s tekočim trakom – pregled literature

## Gait Rehabilitation Overground and Using Treadmill – A Literature Overview

---

Institucija avtorja / Author's institution: Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana, Slovenija.

Kontaktna oseba / Contact person: Janez Pavčič, URI – Soča, Linhartova 51, 1000 Ljubljana. e-pošta / e-mail: janez.pavcic@ir-rs.si.

Prejeto / Received: 15.10.2014. Sprejeto / Accepted: 30.10.2014.

**Janez Pavčič**

**Izvleček.** Rehabilitacijska vadba hoje po okvarah živčevja je navadno usmerjena v trening posameznih nalog s številnimi ponovitvami določenega giba. Sodobni rehabilitacijski pripomočki, vključno s tekočimi trakovi, izboljšujejo rehabilitacijo hoje. Toda poraja se vprašanje ustreznosti vadbe na tekočem traku v primerjavi z vadbo na tleh. Članek prinaša pregled literature o hoji po tleh in na tekočem traku s poudarkom na podobnostih in razlikah med obema načinoma vadbe. Pregled se osredotoča na primerjavo parametrov hoje med obema načinoma vadbe (časovni in prostorski parametri, poraba kisika, kinematika), na dobrobiti vadbe na tekočem traku po možganski kapi in poškodbah hrbtenjače ter na značilnosti hoje pri zavijanju po tleh. Sklepna ugotovitev je, da je rehabilitacijska vadba hoje s tekočim trakom ustrezna.

**Abstract.** Gait rehabilitation after neurological injury typically focuses on task-oriented training with many repetitions of a particular movement. Modern rehabilitation devices, including treadmills, augment gait rehabilitation. However, the question of adequacy of treadmill training in comparison to overground training arises. The article provides an overview of the literature on overground and treadmill walking with an emphasis on their similarities and differences. The focus is on comparing overground and treadmill walking parameters (time and spatial parameters, oxygen consumption, kinematics), benefits of treadmill training after stroke and spinal cord injury, and gait characteristics during overground walking. The overall conclusion is that treadmill training is appropriate for gait rehabilitation.

■ **Infor Med Slov:** 2014; 19(1-2): 19-28

## Uvod

Na Univerzitetnem rehabilitacijskem inštitutu Republike Slovenije – Soča (URI – Soča) se ukvarjamo s povrnitvijo gibalnih sposobnosti osebam, ki so to sposobnost izgubile zaradi različnih vzrokov (bolezen, prometna nesreča). Del rehabilitacije je namenjen treniranju hoje in krepitvi mehanizmov, ki so potrebni pri hoji kot so ravnotežje, prostorsko zavedanje položaja okončine in ne nazadnje tudi krepitev fizične moči. Končni cilj je povrnitev sposobnosti samostojne hoje, lahko pa se stanje izboljša do delne povrnitve gibanja ob uporabi pripomočkov za hojo. Uporaba tekočega traku je v kliničnem okolju uveljavljen način vadbe hoje, razvitih pa je bilo tudi več robotskih sistemov za trening hoje, ki uporabljajo tekoči trak. Pri tem se pojavlja vprašanje, v kolikšni meri je hoja po tekočem traku primerljiva s hojo po tleh in ali so sposobnosti pridobljene z vadbo hoje na traku prenosljive na hojo po tleh. Rehabilitacija hoje je večinoma osredotočena na hojo v smeri naravnost, zato bi bilo ustrezno razmisliti tudi o robotskem sistemu, ki bi olajšal vadbo hoje s spreminjanjem smeri – zavijanjem. Za razvoj omenjene naprave se je potrebno seznaniti z značilnostmi zavijanja po tleh, tako da bi bila naprave za treniranje zavijanja ustrezno načrtovana in izdelana.

V članku je predstavljen pregled literature, ki se osredotoča na primerjavo hoje po tleh in hoje po tekočem traku. Med obema načinoma hoje obstajajo razlike, vendar je prevladujoče mnenje, da uporaba tekočega traku v rehabilitaciji nima negativnih učinkov za prenos na hojo po tleh.

## Primerjava hoje po tleh in po tekočem traku

Collett in sodelavci<sup>1</sup> so skušali ugotoviti, ali je hoja po tleh primerljiva s hojo po tekočem traku. Hojo po tleh lahko modeliramo kot obrnjeno nihalo, kjer opazujemo energijo težišča telesa. Za približek težišča so uporabili označevalec (marker), ki je bil pritrjen na četrto ledveno vretence. Kinetična in

potencialna energija težišča se med hojo izmenjujeta. V idealnem primeru ohranjanja energije bi bili medsebojno fazno zamaknjeni za 180° in enakih amplitud. Med hojo po tleh pri zmerni hitrosti se ohranja približno 70% energije. Med hojo so merili tudi porabo kisika. Tretjina sodelujočih v raziskavi je med hojo po tekočem traku dosegla približno enako stopnjo ohranjanja energije kot med hojo po tleh, dvema tretjinama pa se je skupna energija zmanjšala vsaj za 15%. Kljub razlikam pri stopnji ohranjanja energije med hojo po traku, med skupinama ni bilo pomembnih razlik pri porabi kisika.<sup>1</sup> Večina ostalih raziskovalcev je pokazala, da je poraba energije, torej kisika, večja pri hoji po traku v primerjavi s hojo po tleh pri različnih hitrostih od nizke do visoke (0.67-1.67 m/s).<sup>2</sup> Do enakega zaključka so prišli tudi pri raziskavi o porabi kisika pri pacientih z amputacijo spodnjega uda, čeprav je bila hitrost hoje po traku nižja od hitrosti hoje po tleh.<sup>3</sup>

Pri hoji oseb starih od 50 do 73 let na tleh in tekočem traku ni bilo zabeleženih statistično značilnih razlik pri kadenci (bila pa je zmanjšana faza dvojne opore, kot so ugotovili tudi drugi raziskovalci<sup>4,5</sup>). Ostali časovno-dolžinski parametri (hitrost hoje, dolžina koraka, čas zamaha) so bili podobni. Zato bi pričakovali, da je tudi poraba kisika podobna, vendar je bila med hojo po traku poraba kisika za 23% večja ob hkratnem povešanem srčnem utripu, čeprav je bila hitrost hoje po tleh in po traku enaka. Kinematični podatki so bili podobni, le v primeru fleksije kolka in ekstenzije kolena so se pojavile razlike. Merili so tudi navpično silo podlage, ki je bila med hojo po tekočem traku v povprečju za 5,5% manjša kot med hojo po tleh.<sup>6</sup>

White in sodelavci so raziskovali podobnost med hojo po tleh in tekočem traku z opazovanjem navpične sile podlage pri treh različni hitrostih hoje od počasne do hitre. Časovni potek vertikalne sile podlage je bil zelo podoben med hojo po tleh in po traku. Statistično značilno razliko so zaznali glede velikosti navpične sile – pri hoji po tekočem traku je bila med fazo odnosa 5-6% manjša kot pri hoji po tleh.<sup>7</sup>

Primerjava hoje po tleh in tekočem traku pri desetih zdravih osebah, ki so hodile po tleh s svojo normalno hitrostjo hoje, ki je bila izmerjena in prenesena na tekoči trak, je pokazala, da je bila faza opore na traku krajša za približno 7%, kadenca pa se je povečala za isto vrednost v primerjavi s hojo po tleh.<sup>4</sup> Kadenca med hojo po traku je pogojena tudi s starostjo, saj poročajo, da otroci povečajo kadenco za 10% v primerjavi s hojo po tleh. Pri hoji po tekočem traku se je zmanjšala faza enojne opore (za 7%), povečala faza zamaha (za 5%) in posledično zmanjšala faza dvojne opore (za 27%).<sup>5</sup>

Naslednja pomembna raziskava hoje je bila opravljena na dveh starostnih skupinah s povprečno starostjo 23 in 56 let z namenom ugotoviti vpliv starosti na način hoje po tleh in hoje po tekočem traku. Uporabljen je bil tekoči trak z ločenima trakovima za levo in desno nogo, ki je imel vgrajene tudi pritiskovne plošče, s katerimi so merili reakcijske sile podlage. Raziskava ni pokazala statistično značilnih razlik med starostnima skupinama.<sup>8</sup>

Primerjava časovnih parametrov hoje po tleh in po traku je pokazala razliko pri fazi opore in fazi zamaha. Pri hoji po traku sta se omenjena parametra zmanjšala. Faza dvojne opore se med hojo po tekočem traku ni zmanjšala, kar nasprotuje ugotovitvam ostalih avtorjev.<sup>4,5</sup> Tudi statistična primerjava kadenc med obema hojama ni pokazala razlik. Izračunani so bili navori v sklepkih kolka, kolena in gležnja. Navori v sagitalni ravnini so bili različni, le v primeru plantarne fleksije gležnja je bila zabeležena podobnost med hojo po tleh in po tekočem traku. V frontalni ravnini so bili navori posameznih sklepov podobni. Izmerjene so bile tudi sile podlage v anteriorno-posteriorni, medialno-lateralni in vertikalni smeri. Med silami podlage se je razlika pojavila samo v anteriorno-posteriorni smeri, kjer je bila sila zaviranja na tleh večja od sile na tekočem traku (nekatero druge raziskovalne skupine so ugotovile razlike med navpično silo podlage med hojo po tleh in po tekočem traku<sup>7</sup>). Mišično aktivnost so merili z elektromiografijo (EMG). Razlike med obema načinoma hoje so se pokazale na prednji

golenični mišici (tibialis anterior) med fazo opore ter na zadnji stegenski mišici (hamstrings), štiriglavi stegenski mišici (vastus medialis) in dolgi pritezalki (adductor longus) med fazo zamaha. Čeprav je bilo ugotovljenih nekaj razlik, je bila večina vzorcev med obema načinoma hoje podobna.

V raziskavi o podobnosti med hojo po tleh in po tekočem traku so Riley in sodelavci ugotovili, da obstajajo razlike v kinematiki in kinetiki med obema načinoma hoje, vendar sta hoji vseeno dovolj podobni za uporabo tekočega traku v klinični praksi.<sup>9</sup> V raziskavi so sodelovale zdrave osebe s povprečno starostjo 23 let. Osebe so hodile po treh ločenih trakovih tako, da so raziskovalci lahko zaznali sili odziva leve in desne noge posebej ter dostop posebej. Hitrost hoje po traku je bila prilagojena hitrosti, s katero je oseba hodila po tleh.<sup>9</sup> Časovno-dolžinski parametri hoje (kadenca, čas enojne in dvojne opore, hitrost hoje) so bili podobni – statistično značilnih razlik ni bilo. Dvanajst od 22 kinematičnih podatkov pa se je med obema načinoma hoje statistično značilno razlikovalo. Kinematični podatki so pokazali nekoliko večje območje gibanja pri hoji po tleh v primerjavi s hojo po traku, vendar so bile razlike v območju 2°. Kinetični podatki so pokazali, da so sile zaviranja v anteriorno-posteriorni smeri in strižne sile v medialno-lateralni smeri pri hoji na tleh večje od sil pri hoji po traku. Manjša amplituda v medialno-lateralni smeri je lahko posledica omejene širine deljenega tekočega traku, uporabljenega v raziskavi. Izrazitejše zaviralne sile pri hoji po tleh sta izmerila tudi Lee in Hidler.<sup>8</sup> Vzorci potekov povprečnih sklepkih navorov (kolka, koleno, gleženj) in moči so bili podobni med obema načinoma hoje. Do razlike je prišlo le v primeru navora plantarne in dorzalne fleksije in pri maksimalni in minimalni moči gležnja.<sup>9</sup>

Matsas in sodelavci so ugotovili, da se z večanjem časa hoje na traku razlike v kinematiki kolena v sagitalni ravnini med hojo po tleh in po traku zmanjšujejo.<sup>10</sup> Prav tako se zmanjšuje razlika v časovno-dolžinskih parametrih (kadenca, dolžina koraka). Pokazalo se je, da statistično značilne razlike med obema načinoma hoje izginejo po 4-6

minutah hoje po traku. Zato je pomembno, da ima oseba čas za prilagoditev novemu načinu hoje po tekočem traku, preden se izvedejo meritve.<sup>10</sup> Podobno so Taylor in sodelavci poročali, da se zanesljive kinematične podatke ledvenega dela hrbtenice in medenice izmeri šele po 4 minutah hoje po tekočem traku.<sup>11</sup>

## Rehabilitacija hoje pri bolnikih po možganski kapi

Pacienti, ki so utrpeli možgansko kap, si po končani rehabilitaciji povrnejo nekaj samostojnosti pri hoji, vendar je njihova hoja večinoma še vedno okrnjena. Poročajo, da se hitrost hoje po kapi zmanjša v primerjavi s hojo zdravega človeka in znaša od 0,4 do 0,8 m/s.<sup>12</sup> Po kapi se navadno zmanjšata tudi kadenca hoje in dolžina koraka. Poslabša pa se tudi simetrija hoje zaradi povečanja časa opore na zdravi nogi in krajšega koraka paretične noge.<sup>13,14</sup>

Vadba na tekočem traku je nasploh primerna za starostnike, saj tako ohranjajo gibljivost, mišično moč in podaljšujejo aktivno življenje. Prav tako je tekoči trak uporabljen pri treningu hoje za paciente po možganski kapi.

Osebe s hemiparetično hojo porabijo do dvakrat več kisika v primerjavi z normalno hojo. Macko in sodelavci so poročali o koristnosti vadbe hoje na tekočem traku 6 mesecev po ishemični možganski kapi. Rezultati študije so bili izračunani na podlagi porabe kisika med intenzivno hojo in hojo z normalno hitrostjo. Osebam, ki so vadile na tekočem traku, se je povečala najvišja vadbena zmogljivost za 10% in izračunana ekonomičnost hoje za 15%.<sup>15</sup> Raziskovalci so poročali tudi o povečanju kadence in hitrosti hoje ter povečani moči in zmanjšani spastičnosti pri vadbi na tekočem traku po možganski kapi.<sup>16,17</sup>

Z vadbo za povrnitev motoričnih sposobnosti osebam po možganski kapi je priporočljivo začeti takoj, ko je pacient sposoben potrebnega napora. S tem se poveča verjetnost vsaj delne povrnitve

izgubljenih spretnosti. V doslej omenjenih raziskavah so sodelovale osebe, pri katerih je od kapi minilo najmanj 6 mesecev, a se jim je stanje vseeno izboljšalo. Torej je vadba s tekočim trakom primerna tudi v kasnejšem obdobju – do 20 mesecev po kapi.<sup>15-17</sup>

Opravljen je bila tudi raziskava o učinku dolžine treninga hoje pri osebah po možganski kapi. Trening hoje po traku in po tleh je trajal 2 ali 4 mesece, kontrolna skupina pa treninga ni imela. Ugotovili so, da so z daljšo vadbo dosegli večjo hitrost hoje, vendar so se pozitivni učinki po enem letu izgubili.<sup>18</sup>

Osebe po možganski kapi so imele pri hoji na tekočem traku večjo kadenco in krajši korak v primerjavi s hojo po tleh pri enaki hitrosti hoje. Največja hitrost hoje po tleh je bila višja od hitrosti po traku, kar je posledica težav s stabilnostjo oseb po možganski kapi pri hoji po traku.<sup>19</sup>

Vadba na tekočem traku lahko izboljša koordinacijo gibov spodnjih okončin. Zaradi paretične noge se po možganski kapi pojavi asimetrična hoja. Ugotovili so, da se med hojo po tekočem traku doseže takojšnje povečanje simetrije, ki bi se z daljšim treningom lahko prenesla tudi na hojo po tleh.<sup>20</sup> Opravljena je bila raziskava o povečanju simetrije hoje na tekočem traku z uporabo zvočnega signala za določitev tempa za prizadeto in zdravo nogo posebej. Ugotovili so, da se poveča prostorska simetrija hoje zaradi zmanjšanja dolžine koraka paretične noge ob nespremenjeni dolžini korake zdrave noge. Časovna simetrija pa se poveča zaradi zmanjšanja časa trajanja koraka prizadete noge.<sup>21</sup>

Učinkovit pripomoček pri vadbi simetrije hoje je tekoči trak z ločenima trakovima za levo in desno nogo. Ker je pri osebah po možganski kapi prisotna delna pareza enega od spodnjih udov, je uporaba deljenega tekočega traku primerna za vadbo, saj se hitrost posameznega traku prilagaja zmoglostim uporabnika. Reisman in sodelavci so pokazali, da osebe po možganski kapi ohranijo zmoglost prilagajanja novim vzorcem hoje na deljenem

tekočem traku, na katerem imata leva in desna stran različni hitrosti.<sup>22</sup> Udeležencem raziskave je bila dovoljena uporaba oprijemal za zagotavljanje varnosti in večje stabilnosti med hojo. Hitrost posameznega traku je bila prilagojena uporabniku. Osebe so hodile po deljenem tekočem traku 15 minut, s čimer se je povečala simetrija časovno-dolžinskih parametrov hoje pri hoji na traku. V nadaljevanju pa so skušali ugotoviti, če se povečana simetrija ohrani tudi pri hoji po tleh. Ugotavljali so tudi, ali obstaja razlika med prenosom novih sposobnosti na hojo po tleh med skupino zdravih ljudi in skupino po kapi. Zmožnost skupine bolnikov po kapi, da se prilagodijo novemu načinu hoje, se ni statistično značilno razlikovala od zmožnosti skupine zdravih oseb. Parametra dolžina koraka in čas dvojne opore, kjer je bila predhodno zaznana asimetrija, sta z vadbo po deljenem traku postala kratkotrajno simetrična. Prenos pridobljenih sposobnosti hoje s traku na tla je bil večji pri skupini po kapi v primerjavi z zdravimi ljudmi. To je verjetno posledica večje zahtevnosti učenja novega načina hoje pri skupini po kapi. Pridobljene spremembe hoje so bile kratkotrajne, vendar je z daljšim treningom moč doseči trajnejšo ohranitev simetričnosti hoje.<sup>23</sup> Nekateri raziskovalci pa so prišli do ugotovitve, da med hojo po deljenem tekočem traku brez prisotnih oprijemal ni takojšnjih učinkov povečanja simetrije hoje.<sup>24</sup>

Kuys in sodelavci so raziskovali vpliv treninga hoje po tleh ali po tekočem traku na kasnejšo hojo po tleh pri osebah po možganski kapi. Udeleženci raziskave so najprej opravili 10-minutni trening hoje po tleh, kasneje pa so jim bili izmerjeni kinematični podatki pri hoji po tleh. Po nekaj dneh so iste osebe najprej opravile 10-minutni trening na tekočem traku, kasneje pa so jim bili izmerjeni kinematični podatki med hojo po tleh. Rezultati so pokazali, da se po treningu na tekočem traku večina kinematičnih podatkov med hojo po tleh približuje podatkom med normalno hojo. Manjšina kinematičnih podatkov izraža neželene učinke, vendar pozitivni učinek treninga na tekočem traku prevladuje v primerjavi s treningom hoje po tleh.<sup>25</sup>

Dean in sodelavci so pokazali, da je trening hoje na tekočem traku s sistemom za odvzem dela telesne teže bolj učinkovit od treninga hoje po tleh. V raziskavi je sodelovalo 126 nepokretnih oseb, ki jih je prizadela možganska kap pred največ štirimi tedni in so izvajala rehabilitacijo v zdravstven ustanovi. V skupini, ki je imela trening na tekočem traku, je 71% oseb doseglo samostojno hojo, v kontrolni skupini pa je samostojno hojo zmoglo 60% oseb. Skupina na tekočem traku je imela po pol leta višjo povprečno hitrost hoje in tudi večjo dolžino koraka. Prav tako je med 6-minutnim testom hoje v povprečju opravila 57 m daljšo pot. Število padcev je bilo podobno v obeh skupinah. Raziskava je potrdila, da vadba na tekočem traku nima negativnih posledic, ki bi se prenesle na hojo po tleh.<sup>26</sup> Podobna raziskava je potekala z osebami po možganski kapi, kjer so bili vsi sodelujoči vključeni vsaj 6 mesecev po kapi in sposobni samostojne hoje. Rezultati so pokazali, da je trening hoje po tleh bolj učinkovit od treninga na tekočem traku. Izboljšave so bile opazne pri hitrosti in simetriji hoje tudi 3 mesece po končanem treningu hoje.<sup>27</sup> V raziskavi o vplivu hitrosti tekočega traku med treningom pa so ugotovili, da progresivno zviševanje hitrosti med treningom pozitivno vpliva na časovno-dolžinske parametre hoje.<sup>28</sup>

## Lokomat – robotska naprava za vadbo hoje

Tekoči trak je lahko vgrajen v različne rehabilitacijske naprave, kot so Lokomat, LightGait in Robotic Gait Rehabilitation Trainer. Študije so pokazale da se z robotsko podprto rehabilitacijo (npr. Lokomat) poveča hitrost in simetričnost hoje.<sup>29,30</sup> Izboljša se tudi faza opore ene noge v primerjavi s klasično rehabilitacijo.<sup>31</sup> Manj pa robotizirana vadba vpliva na izboljšanje ravnotežja med hojo. To gre pripisati dejstvu, da je oseba vpeta v sistem za razbremenjevanje teže, ki onemogoča naravno gibanje med hojo, hkrati pa se oseba med vadbo lahko podpira z rokami.

## Pregled značilnosti zavijanja po tleh

Zavijanje pomeni spremembo smeri gibanja med hojo oziroma hojo po krivulji. Ljudje za hojo po ukrivljeni poti praviloma uporabljamo dva načina zavijanja: zavijanje v koraku in zavijanje na oporni nogi. Zavijanje v koraku je bolj naravno in enostavnejše. Pri takem načinu zavijanja je hoja stabilna. To pomeni, da kljub gibanju težišča izven podporne ploskve pri zavijanju ne pride do padca. Težišče človeka je nadzorovano premaknjeno v smer gibanja in ostaja v območju stabilnosti. Zavijanje na oporni nogi pa se lahko izvede le, če težišče človeka še ni prečkalo položaja oporne noge. Pri takem zavijanju se lahko težišče premakne iz območja stabilnosti, kar lahko povzroči padec. Pri zavijanju na oporni nogi nosi težo telesa oporna noga, noga v zamahu pa ustvari silo, potrebno za rotacijo v želeni smeri.<sup>32</sup>

Raziskava o preferenci obeh načinov zavijanja pri starejših zdravih osebah v odvisnosti od hitrosti hoje in velikosti zavoja je pokazala, da je bilo zavijanje v koraku prevladujoče le v primeru hitre hoje pri največjem zavoju. Pogostejša uporaba zavijanja na oporni nogi je lahko vzrok številnim padcem pri starejši populaciji.<sup>33</sup> Pri mlajših zdravih ljudeh pa je bilo zavijanje v koraku pogostejše.<sup>34</sup> Izkazalo se je tudi, da ljudje s cerebralno ataksijo raje uporabljajo zavijanje v koraku, saj je tako njihova hoja stabilnejša.<sup>35</sup>

Pri zavijanju mladih zdravih oseb se najprej spremeni položaj stopal in izvede rotacija trupa v frontalni ravnini, pri čemer znaša amplituda rotacije 6-15° in se povečuje z višanjem hitrosti hoje.<sup>36,37</sup> Sledi zaporedje rotacij v transverzalni ravnini, ki poteka od glave preko trupa do nog.<sup>38</sup> Enako zaporedje rotacij v transverzalni ravnini so imele tudi zdrave starejše osebe. Pokazalo se je, da hitrost hoje ne vpliva na zaporedje rotacij, vpliva pa na mediolateralni premik stopal.<sup>39</sup>

Znano je, da je pogled tako pri hoji naravnost kot pri zavijanju usmerjen v smer hoje. Obstajajo mehanizmi, ki med hojo stabilizirajo glavo in s tem

pogled v smer napredovanja. Nihanje telesa okoli smeri napredovanja osebe je večje od nihanje glave.<sup>40</sup> Raziskave so pokazale tudi, da se glava obrne v smer zavijanja pred ostalim telesom in za kot, ki je večji od velikosti zavoja, tako da človek pridobi vizualno informacijo o nadaljnji poti hoje. Nekateri raziskovalci so ugotovili, da do spremembe orientacije glave pride v določeni razdalji do zavoja,<sup>41,42</sup> drugi pa, da v določenem času do zavoja.<sup>36,43</sup> Med zavijanjem opravi notranja noga krajši korak od zunanje. Notranja noga je noga, ki je med izvajanjem zavoja bližje središču zavoja, zunanja noga pa je od središča bolj oddaljena. Razdalja med dostopoma zunanje noge je večja od razdalje med dostopoma notranje noge.<sup>36,37</sup>

Ugotovljeno je bilo tudi, da so pri zavijanju v primerjavi s hojo naravnost navori rotacije kolka zmanjšani na notranji nogi. Na zunanji nogi so navori ostali podobni kot pri hoji naravnost.<sup>44</sup>

Raziskava, kjer so primerjali reakcijske sile podlage pri hoji naravnost in zavijanju, je pokazala, da so bili reakcijski impulzi pri zavijanju večji v primerjavi s hojo naravnost. To nakazuje potrebo po povečani podpori, zaustavljanju in pospeševanju med zavijanjem.<sup>45</sup>

## Poškodbe hrbtenjače in hoja

Poškodbe hrbtenjače so lahko popolne ali delne. Pri popolni poškodbi hrbtenjače oseba izgubi vse motorične in senzorične funkcije pod nivojem poškodbe. Pri delni poškodbi pa se ohranijo nekatere senzorične ali motorične poti, po katerih oseba dobiva informacije preko čutilnih receptorjev (dotik, bolečina, propriocepcija) ali izvaja nekatere motorične gibe. V odvisnosti od stopnje in lokacije poškodbe hrbtenjače se lahko sposobnost hoje poslabša ali celo izgubi. V večini primerov je poškodba hrbtenjače delna, nekatere živčne poti so ohranjene, kar poveča možnosti izboljšave motoričnih spretnosti.<sup>46</sup> Ugotovili so, da se pri ljudeh z nepopolno poškodbo hrbtenjače v

prvem letu po poškodbi izboljšajo senzorno-motorični sposobnosti.<sup>47</sup>

Plastičnost oziroma sprememba v senzorično-motorični funkciji hrbtenjače se pojavi zaradi intenzivne vadbe nekega gibanja (npr. hoje). Pri živalih je bilo dokazano, da je z ustrezno izbranim treningom možno povrniti sposobnosti, kot so podpiranje telesne teže ali hoja, kljub popolni poškodbi hrbtenjače. Učinek se izboljša z uporabo ustreznih zdravil. Katera izgubljena sposobnost se izboljša, je odvisno od treninga, saj se pri treningu hoje podpiranje telesne teže ne izboljša.<sup>48,49</sup>

Hoja zahteva ritmično menjavanje kontrakcij fleksorjev in ekstenzorjev obeh spodnjih udov, ki se gibljeta v protifazi. Centralni generatorji vzorcev (CGV, angl. central pattern generator) so tiste povezave v osrednjem živčevju, ki generirajo gibalne vzorce. Aktivacija in modulacija centralnih generatorjev vzorcev pri hoji poteka iz možganskega debla. Senzorični podatki čutil (vid, vestibularni organ, propriocepcija) vplivajo na CGV oziroma na trajanje faze opore in stopnjo mišične aktivacije.<sup>50,51</sup> Možna je tudi aktivacija CGV z zunanjo električno stimulacijo pri popolni ločitvi hrbtenjače in možganskega debla. Pri vzburjanju križnega dela hrbtenjače pri vretencu L2 je bil na mišicah spodnjih okončin izmerjen ritmičen EMG signal, ki je primerljiv z EMG zapisom, ki se pojavlja pri človeški hoji. Ob električnem vzburjanju se je pojavilo tudi gibanje noge.<sup>52</sup>

Tekoči trak se uporablja tudi pri poškodbi hrbtenjače. Pri popolni poškodbi hrbtenjače se ljudem ne more povrniti želenega prostovoljnega gibanja nog. Vendar ima trening na tekočem traku, kjer spodnje okončine premika fizioterapevt ali robotska ortoza, pozitivne učinke na srčno-žilni in mišično-skeletni sistem bolnika (npr. zmanjšanje krčev). Pri osebah z delno poškodbo hrbtenjače je po začetnem treningu ob razbremenitvi telesne teže potrebno kasneje povečati nosilno obremenitev, saj so aferentni signali pomembni pri proženju ekstenzorjev noge.<sup>53</sup>

Ljudje z nepopolno poškodbo hrbtenjače, ki so imeli zmožnost hotenega gibanja vsaj enega sklepa spodnjih okončin, so sodelovali v raziskavi o vplivu treninga hoje na spremembe kortikospinalnega trakta. Uporabljali so tekoči trak s sistemom za razbremenitev telesne teže. Po potrebi je pri premikanju in stabilizaciji nog sodeloval tudi fizioterapevt. Treningi so bili intenzivni – potekali so petkrat na teden po eno uro. Z izboljšanjem kakovosti hoje se je povečala obremenitev in zmanjšala podpora fizioterapevta. Z uporabo transkranijske magnetne stimulacije nad motoričnim korteksom in merjenjem motorično sproženih potencialov (ang. MEP, motor-evoked potentials) so ugotovili, da petmesečni trening na tekočem traku poveča vzdraženost kortikospinalnega trakta in amplitude izmerjenih potencialov v mišicah nog. Ob stalni uporabi izboljšanih motoričnih funkcij se le-te ohranijo dalj časa.<sup>54</sup>

Študija na eni osebi z nepopolno poškodbo hrbtenjače je pokazala, da je možno z intenzivnim treningom naraščajoče težavnosti na Lokomatu (zmanjševanje podpore telesne teže in višanje hitrosti hoje) izboljšati amplitudo in modulacijo motorično sproženih potencialov prednje golenske mišice (tibialis anterior).<sup>47</sup> Tudi v naslednji študiji je bil pri vadbi hoje uporabljen robotski sistem Lokomat. Pri osebah z delno poškodbo hrbtenjače se je izkazalo, da ima robotsko podprta vadba na tekočem traku pozitivne učinke na hojo po tleh. Dvema tretjinama oseb se je povrnila zmožnost samostojne hoje po tleh, tretjini pa se je izboljšala vzdržljivost in hitrost hoje.<sup>55</sup>

V raziskavi, pri kateri so primerjali učinke različnih metod rehabilitacije hoje pri poškodbi hrbtenjače, so ugotovili, da je najprimernejša tista, ki temelji na hoji po tleh. Primerjali so hojo na tekočem traku s podporo fizioterapevtov, z dodano električno stimulacijo ali z robotsko vodeno ortozo s hojo po tleh z dodano električno stimulacijo. Električna stimulacija je izzvala fleksorni refleksi med hojo. Pri vseh metodah rehabilitacije je bil opazen napredek samostojne hoje po tleh, vendar je bil le-ta največji pri metodi vadbe po tleh.<sup>56</sup>

## Zaključek

Različne študije kažejo na nekatere razlike in podobnosti, ki obstajajo med hojo po tleh in na tekočem traku. Kljub nespornim razlikam je podobnosti dovolj, da lahko trdimo, da je uporaba tekočega traku v rehabilitaciji koristna in učinkovita. Omogoča trening na omejenem prostoru, kar olajša zajem podatkov za ocenjevanje hoje. Ponuja tudi delno razbremenitev zdravstvenega osebja. Z razvojem senzorjev za ocenjevanje hoje, ki postajajo manjši in enostavnejši za uporabo (inercijski senzorji, kamere), se da opravljati vadbo tudi pri pacientih doma, ocenjevanje napredka in režim vadbe pa določa kvalificirano zdravstveno osebje na daljavo (telerehabilitacija). Na ta način bi se povečalo število pacientov na enega zdravnika oziroma fizioterapevta, kar bi dolgoročno znižalo stroške zdravljenja.

## Literatura

1. Collett J, Dawes H, Howells K, Elsworth C, Izadi H, Sackley C. Anomalous centre of mass energy fluctuations during treadmill walking in healthy individuals. *Gait Posture* 2007; 26(3): 400-406.
2. Berryman N, Gayda M, Nigam A, Juneau M, Bherer L, Bosquet L. Comparison of the metabolic energy cost of overground and treadmill walking in older adults. *Eur J Appl Physiol* 2012; 112(5): 1613-1620.
3. Trallesi M, Porcacchia P, Averna T, Brunelli S. Energy cost of walking measurements in subjects with lower limb amputations: a comparison study between floor and treadmill test. *Gait Posture* 2008; 27(1): 70-75.
4. Warabi T, Kato M, Kiriya K, Yoshida T, Kobayashi N. Treadmill walking and overground walking of human subjects compared by recording sole-floor reaction force. *Neurosci Res* 2005; 53(3): 343-348.
5. Stolze H, Kuhtz-buschbeck JP, Mondwurf C, Boczek-funcke A, Jo K. Gait analysis during treadmill and overground locomotion in children and adults. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1997; 105: 490-497.
6. Parvataneni K, Ploeg L, Olney SJ, Brouwer B. Kinematic, kinetic and metabolic parameters of treadmill versus overground walking in healthy older adults. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2009; 24(1): 95-100.
7. White SC, Yack HJ, Tucker CA, Lin HY. Comparison of vertical ground reaction forces during overground and treadmill walking. *Med Sci Sport Exerc* 1998; 30:1537-1542.
8. Lee SJ, Hidler J. Biomechanics of overground vs. treadmill walking in healthy individuals. *J Appl Physiol* 2008; 104(3): 747-755.
9. Riley PO, Paolini G, Della Croce U, Paylo KW, Kerrigan DC. A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy subjects. *Gait Posture* 2007; 26(1): 17-24.
10. 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.
11. Taylor NF, Evans OM, Goldie PA. Angular movements of the lumbar spine and pelvis can be reliably measured after 4 minutes of treadmill walking. *Clin Biomech* 1996; 11: 484-486.
12. Schmid A, Duncan PW, Studenski S, et al. Improvements in speed-based gait classifications are meaningful. *Stroke* 2007; 38: 2096-2100.
13. Turnbull GI, Charteris J, Wall JC. A comparison of the range of walking speeds between normal and hemiplegic subjects. *Scand J Rehabil Med* 1995; 27: 175-182.
14. Olney SJ, Griffin MP, McBride ID. Temporal, kinematic, and kinetic variables related to gait speed in subjects with hemiplegia: a regression approach. *Phys Ther* 1994: 872-885.
15. Macko RF, Smith G V, Dobrovolsky CL, Sorkin JD, Goldberg a P, Silver KH. Treadmill training improves fitness reserve in chronic stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82(7): 879-884.
16. Silver KHC, Macko RF, Forrester LW, Goldberg AP, Smith GV. Effects of aerobic treadmill training on gait velocity, cadence, and gait symmetry in chronic hemiparetic stroke: a preliminary report. *Neurorehabil Neural Repair* 2000; 14(1): 65-71.
17. Smith G V., Silver KHC, Goldberg a. P, Macko RF. "Task-Oriented" Exercise Improves Hamstring Strength and Spastic Reflexes in Chronic Stroke Patients. *Stroke* 1999; 30(10): 2112-2118.
18. Ada L, Dean CM, Lindley R. Randomized trial of treadmill training to improve walking in community-dwelling people after stroke: the AMBULATE trial. *Int. J Stroke* 2013; 8(6): 436-444.



19. Bayat R, Barbeau H, Lamontagne A. Speed and temporal-distance adaptations during treadmill and overground walking following stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2005; 19(2): 115-124.
20. Harris-Love ML, Macko RF, Whitall J, Forrester LW. Improved hemiparetic muscle activation in treadmill versus overground walking. *Neurorehabil Neural Repair* 2004; 18(3): 154-160.
21. Roerdink M, Lamoth CJC, Kwakkel G, van Wieringen PCW, Beek PJ. Gait coordination after stroke: benefits of acoustically paced treadmill walking. *Phys Ther* 2007; 87(8): 1009-1022.
22. Reisman DS, Wityk R, Silver K, Bastian AJ. Locomotor adaptation on a split-belt treadmill can improve walking symmetry post-stroke. *Brain* 2007; 130(7): 1861-1872.
23. Reisman DS, Wityk R, Silver K, Bastian AJ. Split-belt treadmill adaptation transfers to overground walking in persons poststroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2009; 23(7): 735-744.
24. Kautz S a, Bowden MG, Clark DJ, Neptune RR. Comparison of motor control deficits during treadmill and overground walking poststroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2011; 25(8): 756-765.
25. Kuys SS, Brauer SG, Ada L, Russell TG. Immediate effect of treadmill walking practice versus overground walking practice on overground walking pattern in ambulatory stroke patients : an experimental study. *Clin Rehabil* 2008; 22(10-11): 931-939.
26. Dean CM, Ada L, Bampton J, Morris ME, Katrak PH, Potts S. Treadmill walking with body weight support in subacute non-ambulatory stroke improves walking capacity more than overground walking: a randomised trial. *J Physiother* 2010; 56(2): 97-103.
27. Combs-Miller SA, Kalpathi Parameswaran A, Colburn D, et al. Body weight-supported treadmill training vs. overground walking training for persons with chronic stroke: a pilot randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2014; 28(9): 873-884.
28. Pohl M, Mehrholz J, Ritschel C, Ruckriem S. Speed-dependent treadmill training in ambulatory hemiparetic stroke patients: a randomized controlled trial. *Stroke* 2002; 33(2): 553-558.
29. Hornby TG, Campbell DD, Zemon DH, Kahn JH. Clinical and quantitative evaluation of robotic-assisted treadmill walking to retrain ambulation after spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2005; 11(2): 1-17.
30. Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke. *J Neuroeng Rehabil* 2009; 6:18.
31. Husemann B, Müller F, Krewer C, Heller S, Koenig E. Effects of locomotion training with assistance of a robot-driven gait orthosis in hemiparetic patients after stroke: a randomized controlled pilot study. *Stroke* 2007; 38(2): 349-354.
32. Hase K, Stein RB. Turning strategies during human walking. *J Neurophysiol* 1999; 81(6): 2914-2922.
33. Akram SB, Frank JS, Chenouri S. Turning behavior in healthy older adults: Is there a preference for step versus spin turns? *Gait Posture* 2010; 31(1): 23-26.
34. Patla AE, Prentice SD, Robinson C, Neufeld J. Visual control of locomotion: strategies for changing direction and for going over obstacles. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1991; 17: 603-634.
35. Mari S, Serrao M, Casali C, et al. Turning strategies in patients with cerebellar ataxia. *Exp Brain Res* 2012; 222(1-2): 65-75.
36. Courtine G, Schieppati M. Human walking along a curved path. I. Body trajectory, segment orientation and the effect of vision. *Eur J Neurosci* 2003; 18(1): 177-190.
37. Hollands M, Sorensen K, Patla a. Effects of head immobilization on the coordination and control of head and body reorientation and translation during steering. *Exp Brain Res* 2001; 140(2): 223-233.
38. Patla a. E, Adkin a., Ballard T. Online steering: coordination and control of body center of mass, head and body reorientation. *Exp Brain Res* 1999; 129(4): 629-634.
39. Akram SB, Frank JS, Fraser J. Effect of walking velocity on segment coordination during pre-planned turns in healthy older adults. *Gait Posture* 2010; 32(2): 211-214.
40. Imai T, Moore ST, Raphan T, Cohen B. Interaction of the body, head, and eyes during walking and turning. *Exp Brain Res* 2001; 136(1): 1-18.
41. Sreenivasa MN, Frissen I, Souman JL, Ernst MO. Walking along curved paths of different angles: the relationship between head and trunk turning. *Exp Brain Res* 2008; 191: 313-320.
42. Hicheur H, Vieilledent S, Berthoz A. Head motion in humans alternating between straight and curved walking path: combination of stabilizing and anticipatory orienting mechanisms. *Neurosci Lett* 2005; 383(1-2): 87-92.

43. Prévost P, Ivanenko Y, Grasso R, Berthoz A. Spatial invariance in anticipatory orienting behaviour during human navigation. *Neurosci Lett* 2003; 339(3): 243-247.
44. Orendurff MS, Segal AD, Berge JS, Flick KC, Spanier D, Klute GK. The kinematics and kinetics of turning: limb asymmetries associated with walking a circular path. *Gait Posture* 2006; 23(1): 106-111.
45. Strike SC, Taylor MJD. The temporal-spatial and ground reaction impulses of turning gait: is turning symmetrical? *Gait Posture* 2009; 29(4): 597-602.
46. Raineteau O, Schwab ME. Plasticity of motor systems after incomplete spinal cord injury. *Nat Rev Neurosci* 2001; 2(4): 263-273.
47. Smith HC, Savic G, Frankel HL, et al. Corticospinal function studied over time following incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord* 2000; 38(5): 292-300.
48. De Leon RD, Hodgson JA, Roy RR, Edgerton VR. Full weight-bearing hindlimb standing following stand training in the adult spinal cat. *J Neurophysiol* 1998; 80(1): 83-91.
49. Lovely RG, Gregor RJ, Roy RR, Edgerton VR. Effects of training on the recovery of full-weight-bearing stepping in the adult spinal cat. *Exp Neurol* 1986; 92(2): 421-435.
50. Boulenguez P, Vinay L. Strategies to restore motor functions after spinal cord injury. *Curr Opin Neurobiol* 2009; 19(6): 587-600.
51. Dietz V. Spinal cord pattern generators for locomotion. *Clin Neurophysiol* 2003; 114(8): 1379-1389.
52. Dimitrijevic MR, Gerasimenko Y, Pinter MM. Evidence for a spinal central pattern generator in humans. *Ann N Y Acad Sci* 1998; 860: 360-376.
53. Hubli M, Dietz V. The physiological basis of neurorehabilitation – locomotor training after spinal cord injury. *J Neuroeng Rehabil* 2013; 10: 5.
54. Thomas SL, Gorassini M a. Increases in corticospinal tract function by treadmill training after incomplete spinal cord injury. *J Neurophysiol* 2005; 94(4): 2844-2855.
55. Hornby TG, Zemon DH, Campbell D. Robotic-assisted, body-weight-supported treadmill training in individuals following motor incomplete spinal cord injury. *Phys Ther* 2005; 85(1): 52-66.
56. Field-Fote EC, Lindley SD, Sherman AL. Locomotor training approaches for individuals with spinal cord injury: a preliminary report of walking-related outcomes. *J Neurol Phys Ther* 2005; 29(3): 127-137.