

Gangfunksjon etter hjerneslag

– er hastighet og symmetri relevante mål for opptreningen?



Siri Tessem,
fysioterapeut,
høgskolelektor,
Høgskolen i Oslo og
Akershus, fysiotera-
peututdanningen
E-post: Siri.Tes-
sem@hioa.no

Nora Hagstrøm, fysioterapeut,
høgskolelektor, Høgskolen i Oslo og
Akershus, fysioterapeututdanningen

Denne **fagartikkelen**, først mottatt 25.11.10 og godkjent 08.11.2011 er eksternt fagfellevurdert etter Tidsskriftet Fysioterapeutens retningslinjer på www.fysioterapeuten.no

Oppgitte interessekonflikter: ingen.

Sammendrag

- **Innledning:** De fleste personer som rammes av hjerneslag får problemer med gangfunksjonen i større eller mindre grad. Selvstendig gangfunksjon er nært knyttet til aktivitet og deltakelse på de fleste samfunnsområder, og er en viktig målsetning for personer som er rammet av slag.
- **Hoveddel:** Artikkelen presenterer kunnskap fra vitenskapelige studier, og spørsmålet som stilles er hvorvidt økt symmetri og økt hastighet under gange er relevante mål for fysioterapi. Personer med slag i kronisk stadium (minimum 6 måneder etter slaget), går saktere enn friske og bruker opp til 1.5-2 ganger så mye energi ved samme ganghastighet. En langsom gange, i betydningen mindre automatisert, kan medvirke til at energikravet øker. Økt hastighet kan gi en mer energieffektiv gange gjennom en bedre motorisk koordinering av underekstremitene. Det er påvist positive effekter på økning av ganghastighet gjennom gangrelatert utholdenhetstrening og høyintensiv funksjonell styrketrening. Derimot er det mangelfull dokumentasjon på at styrke- og gangrelatert trening fører til varig økt symmetri mellom affisert og ikke affisert underekstremitet.
- **Avslutning:** Økt ganghastighet alene er ikke tilstrekkelig for å oppnå større samfunnsmessig deltakelse. Det viktigste er ikke nødvendigvis å kunne forflytte seg raskere, men å kunne opprettholde en komfortabel ganghastighet med mindre muskulær anstrengelse. Sterkere muskler og større utholdenhet kan gi grunnlag for en mer energisparende gange. Dette kan i neste omgang gi større fleksibilitet med mulighet for tempoendringer ved behov.
- **Nøkkelord:** Hjerneslag, ganghastighet, symmetri, energiforbruk, samfunnsmessig deltakelse.

Innledning

Med utgangspunkt i en befolkningsbasert studie i Nord-Trøndelag i perioden 1994-96, antas det at cirka 11.000 personer i Norge vil rammes av førstegangs hjerneslag hvert år (1). På bakgrunn av en økende andel eldre i befolkningen, vil insidensen trolig øke med inntil 50 prosent de nærmeste 20 årene (2). Hjerneslag er den tredje hyppigste dødsårsak som følge av sykdom (1), og er en av de viktigste årsakene til varig funksjonsnedsettelse i den vestlige verden (3-5).

De fleste slagrammede personer får problemer med gangfunksjonen i større eller

mindre grad. Det som først og fremst kjennetegner gangfunksjon etter et hjerneslag, er redusert ganghastighet (6-9) og et karakteristisk asymmetrisk gangmønster (8-10). Gangproblemene har sammenheng med flere underliggende forstyrrelser på kroppsfunksjons- og kroppsstrukturnivå. Disse består i hovedsak av pareser, tonusforstyrrelser, sensibilitetsforstyrrelser, uttalt tretthet, nedsatt utholdenhet og kognitive og perseptuelle forstyrrelser. Alt dette henger igjen sammen med en forstyrret motorisk kontroll som medfører nedsatt balanse, koordinasjon og timing (11,12).

Selvstendig gangfunksjon er nært knyttet til aktivitet og deltakelse på de fleste samfunnsområder og er et viktig mål ved rehabilitering av slagrammede personer (4, 13-16). I denne artikkelen har vi gjennomført en selektiv litteraturgjennomgang basert på søk i relevante elektroniske databaser (se søkestrategi i Figur 1) med det formål å undersøke om en økt ganghastighet og et mer symmetrisk gangmønster er relevante målsetninger for fysioterapitiltak for å bedre forhold knyttet til aktivitet og deltakelse. Gruppen vi har sett på omhandler slagrammede personer i kronisk stadium, minimum



Selvstendig deltagelse i et samfunnsliv innebærer evnen til å bruke gangfunksjonen til å mestre andre oppgaver, og ofte i komplekse omgivelser.



VIKTIG MÅLSETTING Selvstendig gangfunksjon er nært knyttet til aktivitet og deltagelse på de fleste samfunnsområder.

Søk ble gjennomført i databasene Medline (incl. Pubmed), AMED, CINAHL, Cochrane Library, EMBASE, ISI Web og PEDro i perioden juni 2010-november 2011, og følgende søkestrategi ble brukt:

MeSH (emneord i Pubmed) – gait disorders, neurologic, stroke, cerebral stroke, strength training, gait, walking, physical endurance, muscle weakness, gait, walking, physical endurance
Fritekst – velocity, speed, symmetry, kinematics, metabolic requirements, community, ambulation.

Søket resulterte i 127 relevante studier, og av disse ble 26 studier inkludert i henhold til følgende kriterier:

1. Studier med eksperimentelle, deskriptive design som beskriver faktorer av betydning for ganghastighet og symmetri (15 studier).
2. Randomiserte kontrollerte studier og oversiktsartikler som vurderer effekt av styrke og/eller gangrelatert utholdenhetstrening der utkommemål er ganghastighet og/eller symmetri (11 studier).

FIGUR 1 Strategi og resultat av søk i elektroniske databaser.

seks måneder etter slaget (13) og med begrenset utendørs gangfunksjon.

Ganghastighet relatert til funksjon

Grad av utfall og tid etter skade har betydning for ganghastigheten etter et slag. Kadens (antall enkeltskritt per minutt), skrittlengde og varighet på dobbel standfase er de rom- og tidsparametre som er mest relatert til ganghastighet, og disse endres hyppig etter slag (8,17). Hos slagrammede personer i kronisk stadium er den viktigste underliggende faktoren som fører til disse endringene pareser i underekstremitetens muskulatur. Flere tverrsnittstudier viser at svakhet i plantarfleksorer og hoftefleksorer på affisert side er hyppigst assosiert med redusert ganghastighet (6,7,18).

Normal ganghastighet hos voksne perso-

ner ligger som oftest mellom 0,75-1,75 m/s (19), eller gjennomsnittlig 1,34 m/s (13). Friske eldre personer går litt saktere, gjennomsnittlig 1,1-1,3 m/s, men de kan lett variere hastigheten (7). Til sammenligning er gjennomsnittlig ganghastighet hos slagrammede personer i kronisk stadium på rundt 0,4-0,5 m/s (13), men mange kan øke ganghastigheten noe fra selvvalgt til maksimal komfortabel hastighet. Hos slagrammede personer vil plantarfleksorenes evne til å generere kraft imidlertid ofte være tatt ut allerede ved selvvalgt hastighet, og en eventuell økning av ganghastigheten skjer primært ved at hoftefleksorene genererer større kraft (4,6,7). Personer med selvvalgt hastighet på under 0,6 m/s, vil ha en forholdsvis mye mindre evne til å øke ganghastigheten enn personer med en selvvalgt hastighet på over 0,6 m/s (6,18,20).

En vanlig brukt inndeling av ganghastighet i forhold til funksjon, er at hastigheter under 0,4 m/s tilsier alvorlige gangproblemer og kun innendørs forflytning, 0,4-0,8 m/s tilsier moderate gangproblemer og begrenset utendørs ambulerings, og over 0,8 m/s indikerer forholdsvis lette gangproblemer og varierende grad av utendørs ambulerings (13). For å kunne ferdes trygt som fotgjenger i trafikkerte omgivelser, kreves imidlertid en ganghastighet på 1,1-1,5 m/s (12). Dette innebærer at svært mange slagrammede personer i kronisk stadium har betydelige aktivitetsbegrensninger i omgivelser som krever raske tilpasninger av ganghastigheten.

Energiforbruk ved varierende ganghastighet

Gangfunksjon etter slag er assosiert med et betydelig høyere energiforbruk (målt i hjerterefrekvens eller oksygenopptak), sammenlignet med friske kontrollpersoner (8,14). Det er vist at slagrammede personer i kronisk stadium bruker opp til 1,5-2 ganger så mye energi som friske personer som går med samme hastighet (21). Den optimale ganghastigheten finner man normalt i skjæringspunktet mellom best mulig muskulær effektivitet kombinert med lavest mulig energiforbruk (22), og den selvvalgte hastigheten er vanligvis den mest energibesparende (14). Energiforbruket avtar normalt i takt med at ganghastigheten reduseres, og den lave ganghastigheten hos slagrammede personer kan derfor forstås som en måte å senke kravet til anstrengelse (8,18).



Økt symmetri av rom- og tidsparametre er ingen forutsetning for funksjonell bedring av gangfunksjon etter slag.

Bildet er imidlertid litt mer sammensatt når ganghastigheten reduseres under et visst nivå. Langsom gange er normalt mindre automatisert sammenlignet med raskere gange (17,23), og målinger av muskelaktivitet hos friske personer har vist at de individuelle variasjonene av aktivitetsmønstre er størst ved hastigheter under 0,7 m/s, mens høyere hastigheter i større grad viser mer like mønstre (22,23). Slagrammede personer viser mer variabilitet innad hos den enkelte og seg imellom på de fleste rom- og tidsparametre sammenlignet med friske personer (8), og når de i tillegg går langsommere, øker disse variabilitetene ytterligere.

En langsom gange, i betydningen mindre automatisert, kan derfor medvirke til at energikravet øker, blant annet gjennom økte krav til posturale tilpasninger, økt kontraksjon mellom fleksorer og ekstensorer samt en mer aktiv kontroll av svingbenet (19). Høyere ganghastighet fører normalt til økt hjerterefrekvens og økt muskelarbeid, men til tross for dette er det vist at det relative energiforbruket per enhet gangdistanse hos slagrammede personer ofte reduseres når ganghastigheten øker (8). Dette forklares ved at effektiviteten i energiforbruket øker med økende hastighet på grunn av en mer adekvat timing av muskelaktiviteten, samt en bedre motorisk koordinering mellom affisert og ikke affisert underkremittet (4,8,23).

Effekt av tiltak for å øke ganghastigheten

Økt energiforbruk under gange hos slagrammede personer vil, sammen med en generell dekondisjonering, kunne føre til redusert arbeidskapasitet og redusert ganghastighet (8,13, 24). Flere har studert effekten av å trene utholdenhet og eller styrke av underkremittetsmuskler for å øke ganghastigheten. De studiene som i størst grad rapporterer positive effekter på ganghastighet, er de som har inkludert gangrelatert utholdenhetstrening med eller uten bruk

av tredemølle, eventuelt i kombinasjon med funksjonell styrketrening (3,5,24,25).

Presise retningslinjer for dosering varierer noe i ulike studier, men høy intensitet som tilsvarer opp mot 80 prosent av 1RM (repetition maximum) (5,13,24), og varighet over 8 uker (24,25) løftes fram som sentralt for å oppnå effekt av styrketrening. I tillegg oppgis spesifisitet som viktig for at økt styrke skal gi overførbarhet til økt aktivitet og deltakelse (5,24,25). For varig effekt er det i tillegg avgjørende at slagrammede personer stimuleres til å opprettholde treningen over tid (24).

Av studier som utelukkende har målt effekt av styrketrening for bedring av ganghastighet, er det relativt få som viser tilfredsstillende metodisk kvalitet, og resultatene er varierende (5,24). Dette kan blant annet ha sammenheng med at det ikke eksisterer noe lineært forhold mellom styrke og funksjon (21). Mye tyder på at slagrammede personer i kronisk stadium med lette til moderate aktivitetsbegrensninger, har mest å hente på styrketrening i forhold til økning av ganghastighet. Hos personer med mer omfattende begrensninger, vil som regel mulighetene for at treningen skal kunne gi økt aktivitet og deltakelse være mye mindre til tross for at trening kan gi økt styrke i enkeltmuskler (3, 21).

Det er heller ikke gitt at økt styrke i underkremittetsmuskulatur alltid kommer til uttrykk gjennom raskere selvvalgt hastighet. Slagrammede personer med begrenset utendørs forflytning, bruker ofte sitt maksimale potensial på å generere kraft allerede ved selvvalgt hastighet (6,24). Styrkegevinsten som oppnås gjennom treningen, blir ofte brukt til å opprettholde selvvalgt hastighet, men med mindre muskulær anstrengelse (18).

Krav til gangfunksjon i komplekse omgivelser

Selv om de fleste slagrammede personer oppnår selvstendig gangfunksjon, har mange av disse fortsatt begrenset evne til utendørs

forflytning (3,20). Selvstendig deltakelse i et samfunnsnivå innebærer evnen til å bruke gangfunksjonen til å mestre andre oppgaver, og ofte i komplekse omgivelser. Det kreves styrke, balanse og kardiovaskulær utholdenhet nok til å mestre et minimum av gangdistanse, og i tillegg oppmerksomhet, timing og evne til å tolke omgivelsene og foreta raske posturale tilpasninger (5, 9,11-13,15,21).

En økning av ganghastigheten kan i så måte være et av flere delmål som er nødvendig for å nå det overordnede målet om større deltakelse. I de senere årene er nyere teknologi tatt i bruk også ved rehabilitering av slagrammede personer. En randomisert kontrollert studie sammenlignet ganghastighet hos 20 slagrammede personer fordelt på eksperimentgruppe og kontrollgruppe (16). Begge gruppene trente på tredemølle i 3 uker, og eksperimentgruppen ble i tillegg eksponert for tredimensjonal visning av omgivelser på dataskjerm. Eksperimentgruppen viste, i tillegg til signifikant økt ganghastighet sammenlignet med kontrollgruppen, signifikant kortere tid målt ved utendørs forflytning over 400 meter i et reelt gatemiljø med naturlige hindringer. Resultatene ble opprettholdt ved retest etter 1 måned (16). Dette betyr at selv om ganghastighet er et reliabelt mål på bedring av gangfunksjon (13), er det ikke nødvendigvis nok til å reflektere selvstendighet når kompleksiteten øker i forbindelse med utendørs forflytning (5,13,15).

Symmetrisk gange ingen forutsetning for bedring av funksjon

Deler av fysioterapibehandlingen av slagrammede personer går tradisjonelt ut på å trene mot å oppnå et mer symmetrisk gangmønster i forhold til de ulike fasene i gangsyklusen. Et asymmetrisk gangmønster er assosiert med uheldige konsekvenser som nedsatt postural kontroll, overbelastning av bløtvev på ikke affisert side og tap av benvev på affisert side (10). Asymmetriske gangmønstre beskrives primært som endringer i forholdet mellom affisert og ikke affisert underkremittet, og er hyppigst studert i relasjon til rom- og tidsparametre i gangen. De vanligste kjennetegnene er nedsatt varighet av enkel standfase, økt varighet av dobbel standfase (8,26) og økt varighet av svingfasen på affisert ben (26).

Mens mange klinikere har som utgangspunkt at asymmetri er «uønsket», vil flere forskere hevde at slagrammedes gangmøn-

ster er et uttrykk for en mer eller mindre hensiktsmessig dynamisk tilpasning til den aktuelle hjerneskaden (8,17). Shumway-Cook og Woollacott (2011) argumenterer for at utarbeidelse av realistiske målsetninger må ta utgangspunkt i hvilken fase den slagrammede personen befinner seg i. I et akutt stadium er det rimelig å trene mot å oppnå normalisering av funksjon og økt symmetri så langt det lar seg gjøre, mens det i kronisk stadium i mange tilfeller vil være realistisk å bedre funksjon gjennom å tillate kompensatoriske strategier.

Sensomotoriske begrensninger vil tvinge fram bruk av kompensatoriske strategier gjennom å redusere antall frihetsgrader under gange. Slagrammede personer lærer seg på denne måten å tilpasse eksisterende funksjonsbegrensninger til en måte som muliggjør aktivitet og deltakelse (14,17,27).

Det er vist at asymmetri av gangen øker over tid i kronisk fase etter slag, til tross for at ganghastighet og underkremittetsfunksjon opprettholdes (9). Studier som har rapportert signifikant økt ganghastighet etter styrke- og eller gangrelatert utholdenhetstrening, har ikke funnet endringer på rom- og tidsparametre eller muskelaktiviseringsmønstre i retning av en mer symmetrisk gange (9,14,17,27). Bedring av funksjon som oppnås blant annet gjennom styrke- og utholdenhetstrening, skjer med andre ord som en følge av mer effektiv bruk av de allerede eksisterende kompensatoriske bevegelsesmønstrene (28). Økt symmetri av rom- og tidsparametre er derfor ingen forutsetning for funksjonell bedring av gangfunksjon etter slag (8,9,17,18,27).

Det er imidlertid ikke gitt at forskjeller mellom friske og slagrammede personer bare gjenspeiler patologi. Det er vist at friske personer som går sakte, oppnår tilsvarende endringer i rekruttering og timing av muskelaktiviteten som slagrammede personer (17,19). Videre vil aktiveringsmønstre på ikke affisert side hos slagrammede personer, adapteres til kroppsfunksjonsbegrensninger på affisert side (27). Dette kan derfor tyde på at de avvikende aktiveringsmønstre man ofte finner hos slagrammede personer i mange tilfeller vil være uttrykk for adaptasjoner til hastighetsrelaterte endringer, i tillegg til en primær forstyrrelse av den motoriske kontrollen (17,27).

Bruk av tredemølle i opptreningen

Det kan likevel se ut som gangtrening på

tredemølle kan gi noen gunstige tilleggseffekter når det gjelder symmetri. Gange på tredemølle bidrar til økt ekstensjon i hofte i sen standfase, også på affisert side (4,26). Økt hofteekstensjon kan gi et bedre utgangspunkt for hoftefleksorenes akselerasjon og plantarfleksorenes kraftgenerering i inngangen til svingfasen, og kan, på den måten bidra til en mer symmetrisk gange (4,12,26,29). Signifikante endringer i symmetri er imidlertid kun registrert for steglengde, og ikke for varighet av enkel og dobbel standfase (26). Det er vist at resultater fra tredemølle kan overføres til gange på gulv (30), men dette er foreløpig ikke godt nok dokumentert, og langtidseffekter er usikre (26).

Tredemølle med oppheng vil, på samme måte som bruk av ganghjelpemiddel, bidra til mindre muskulær anstrengelse og et lavere totalt energiforbruk (4,29). Gange på tredemølle uten avlastning er derimot assosiert med høyere energiforbruk enn gange på vanlig gulv. Dette trolig fordi gange på tredemølle krever større posturale justeringer og forøvrig en tilpasning av vanlig gangmønster som øker energibehovet (14).

Avslutning

I denne artikkelen har vi vurdert i hvilken grad økt ganghastighet og/eller økt symmetri er relevante målsetninger for gangtrening hos slagrammede personer i kronisk stadium. Et overordnet mål for gangfunksjonen er større samfunnsmessig deltakelse, men ikke alle slagrammede personer har forutsetninger for å nå like langt. En økning av ganghastigheten kan være ett av flere viktige delmål for å nå det overordnede målet. En raskere gange kan gi bedre energiutnyttelse gjennom en forbedret motorisk koordinering, (8,17,19) hvilket best oppnås ved gangrelatert utholdenhetstrening og høyintensiv funksjonell styrketrening (3,5,24). Det er viktig å ta høyde for at overførbarhet av styrketrening varierer med omfang av underliggende funksjonsbegrensninger.

Kanskje enda viktigere enn å forflytte seg raskere, er det å kunne opprettholde en komfortabel ganghastighet med mindre muskulær anstrengelse. Sterkere muskler og større utholdenhet kan gi grunnlag for en mer energibesparende gange. Dette vil i neste omgang kunne gi større fleksibilitet med mulighet for tempoendringer ved behov og i tråd med skiftende omgivelseskrav (6,18).

Det er derimot mangelfull evidens for at

styrke- og gangrelatert trening fører til varig økt symmetri mellom affisert og ikke affisert underekstremitet (10,14,17,27,28).

Fysioterapibehandling av slagrammede personer har tradisjonelt hatt stort fokus på å bedre kvalitet i bevegelser, muligens på bekostning av kvantitet. Kanskje tiden er moden for å endre fokus? Med utgangspunkt i kunnskapen som foreligger anbefaler vi at det legges stor vekt på tiltak som bidrar til en mer energibesparende gange. For å nå det overordnede målet om økt selvstendighet og større samfunnsmessig deltakelse, bør gangtreningen i tillegg stille krav til variasjon og tilpasning som gjenspeiler noe av den kompleksiteten som kjennetegner et aktivt liv.

Litteratur

1. Ellekjær H, Selmer R. Hjerneslag – like mange rammes, men prognosen er bedre. *Tidsskr Nor Lægeforen* 2007; 6: 740-3.
2. Helsedirektoratet 2010: Nasjonal retningslinje for behandling og rehabilitering ved hjerneslag: www.helsedirektoratet.no/fagnytt/ny_retningslinje_for_slagbehandling_702314
3. Salbach NM, Mayo NE, Wood-Dauphinee S et al. A task-orientated intervention enhances walking distance and speed in the first year post stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil* 2004; 18: 509-19.
4. Mulroy SJ, Klassen T, Gronley JK et al. Gait parameters associated with responsiveness to treadmill training with body-weight support after stroke: An exploratory study. *Phys Ther* 2010; 90(2): 209-23.
5. Wevers L, van de Port I, Mathijs V et al. Effects of task-oriented circuit class training on walking competency after stroke: A systematic review. *Stroke* 2009; 40: 2450-9.
6. Jonkers I, Delp S, Patten C. Capacity to increase walking speed is limited by impaired hip and ankle power generation in lower functioning persons post-stroke. *Gait Posture* 2009; 29: 129-37.
7. Jonsdottir J, Recalcati M, Rabuffetti M et al. Functional resources to increase gait speed in people with stroke: Strategies adopted compared to healthy controls. *Gait Posture* 2009; 29: 355-9.
8. Lamontagne A, Stephenson JL, Fung J. Physiological evaluation of gait disturbances post stroke. *Clin Neurophysiol* 2007; 118: 717-29.
9. Patterson KK, Gage WH, Brooks D et al. Changes in gait symmetry and velocity after stroke: A cross-sectional study from weeks to years after stroke. *Neurorehab Neural Re* 2010; 24: 783-90.
10. Patterson KK, Gage WH, Brooks D et al. Evaluation of gait symmetry after stroke: A comparison of current methods and recommendations for standardization. *Gait Posture* 2010; 31: 241-6.
11. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control. Translating research into clinical practice. 4. utgave. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2011.

Title: Gait after stroke - are velocity and symmetry relevant aims for rehabilitation?

Abstract

- **Introduction:** Most stroke survivors experience gait difficulties to some extent. Regaining independent gait is an important aim in stroke rehabilitation and is closely related to activity and participation in several community areas. This paper presents an overview of studies concerning stroke survivors with gait velocity and symmetry as the main focus.
- **Main part:** Chronic stroke survivors walk more slowly than healthy individuals and their energy expenditure is 1, 5-2 times as high when walking at the same velocity. Slow gait can be less automatic, contribute to higher energy demands, while faster gait is more energy efficient due to more coordinated movement patterns. Gait velocity can be increased through gait related endurance training and high intensive functional strength training. However, the evidence supporting that strength- and gait-related endurance training might lead to more symmetric gait patterns, is insufficient.
- **Summary:** Although gait velocity is a reliable measure of improvement of gait, it does not adequately reflect independence in complex outdoor environments. Keeping a comfortable gait speed with less muscular effort, is perhaps more important than fast walking, as this might lead to a more functional and flexible gait where the individual is able to change velocity as needed.
- **Key words:** cerebral stroke, gait velocity, symmetry, energy consumption, community participation.

12. Carr J, Shepherd R. Neurological rehabilitation. Optimizing motor performance. 2. utgave. Sydney: Churchill Livingstone Elsevier, 2010.
13. Dickstein R. Rehabilitation of gait speed after stroke: A critical review of intervention approaches. *Neurorehab Neural Re* 2008; 22: 649-60.
14. Brouwer B, Parvataneni K, Olney S. A comparison of gait biomechanics and metabolic requirements of overground and treadmill walking in people with stroke. *Clin Biomech* 2009; 24: 729-34.
15. Lord SE, Rochester L. Measurement of community ambulation after stroke: current status and future developments. *Stroke* 2005; 36: 1457-61.
16. Yang YR, Tsai MP, Chuang TW et al. Virtual reality-based training improves community ambulation in individuals with stroke: A randomized controlled trial. *Gait Posture* 2008; 28: 201-6.
17. Den Otter AR, Geurts ACH, Mulder T et al. Gait recovery is not associated with changes in the temporal patterning of muscle activity during treadmill walking in patients with post-stroke hemiparesis. *Clin Neurophysiol* 2006; 117: 4-15.
18. Milot MH, Nadeau S, Gravel D et al. Effect of increases in plantarflexor and hip flexor muscle strength on the levels of effort during gait in individuals with hemiparesis. *Clin Biomech* 2008; 23: 415-23.
19. Den Otter AR, Geurts ACH, Mulder T et al. Speed related changes in muscle activity from normal to very slow walking speeds. *Gait Posture* 2004; 19: 270-8.
20. Van de Port IG, Kwakkel G, Lindeman E. Community ambulation in patients with chronic stroke: how is it related to gait speed? *J Rehabil Med* 2008; 40: 23-7.
21. Bohannon RW. Muscle strength and muscle training after

- stroke. *J Rehabil Med* 2007; 39: 14-20.
22. Byrne CA, O'Keefe DT, Donnelly AE et al. Effect of walking speed changes on tibialis anterior EMG during healthy gait for FES envelope design in drop foot correction. *J Electromyogr Kines* 2007; 17: 605-16.
23. Van Hedel HJA, Tomatis L, Müller R. Modulation of leg muscle activity and gait kinematics by walking speed and bodyweight unloading. *Gait Posture* 2006; 24: 35-45.
24. Saunders DH, Greig CA, Mead GF et al. Physical fitness training for stroke patients. *Cochrane Database of systematic reviews* 2009; issue 4. Art.no: CD003316. DOI: 10.1002/14651858.CD003316.pub3.
25. Lee MJ, Kilbreath SL, Singh MF et al. Effect of progressive resistance training on muscle performance after chronic stroke. *Med Sci Sport Exer* 2009; 42(1): 23-34.
26. Tyrell CM, Roos MA, Rudolph KS et al. Influence of systematic increases in treadmill walking speed on gait kinematics after stroke. *Phys Ther* 2011; 91(3): 392-402.
27. Buurke JH, Nene AV, Kwakkel G et al. Recovery of gait after stroke: What changes? *Neurorehab Neural Re* 2008; 22: 676-83.
28. Kautz SA et al. Coordination of hemiparetic locomotion after stroke rehabilitation. *Neurorehab Neural Re* 2005; 19: 250-8.
29. Buurke JH, Hermens HJ, Erren-Wolters CV et al. The effect of walking aids on muscle activation patterns during walking in stroke patients. *Gait Posture* 2005; 22: 164-70.
30. Langhammer B, Stanghelle JK. Exercise on a treadmill or walking outdoors? A randomized controlled trial comparing effectiveness of two walking exercise programmes late after stroke. *Clin Rehab* 2010; 24: 46-54.