

## 팔 흔들기가 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행에 미치는 영향

김진섭 · 권오현

안동과학대학 물리치료과

### The Effect of Arm Swing on Gait in Post-Stroke Hemiparesis

Jin-seop Kim, PT, MS, Oh-hyoun Kwon, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Andong science college

#### <Abstract>

**Purpose** : The purpose of this study was to investigate the variations in gait parameters according to arm swing use in post stroke hemiparesis.

**Methods** : Sixteen patients participated in this study and walked at self-selected speeds on a Rs-scan systems. The were randomly assigned conditions: self-selected arm swing, constraint arm swing, emphasis arm swing.

**Results** : In the comparison of parameters in each trial, both affected step length, non affected step length, affected stride length, non affected stride length, affected single support time, and non affected single support time were significantly increased and double support time was significantly decrease in emphasis arm swing when compared with both self-selected arm swing and constraint arm swing( $p<.05$ ). However, Asymmetrical ratio was significantly increased in both emphasis arm swing and self-selected arm swing when compared constraint arm swing( $p<.05$ ).

**Conclusion** : Therefore, In this study, gait rehabilitation of patients with hemiplegia depending on what you need to apply the arm swing is considered.

---

**Key Words** : Arm swing, Gait, Hemiparesis

#### I. 서 론

뇌졸중으로 인한 편마비 환자들의 재활을 위하여 많은 비용이 사용되고 있지만, 뇌졸중은 여전히 성

인장애의 원인이 되고 있다(Whitall, 2004). 뇌졸중으로 인한 장애의 양상은 손상된 부위와 정도에 따라 다르게 나타나지만 일반적으로 운동 마비, 감각 마비, 인지 장애, 시지각 장애, 연하장애 등을 나타

---

교신저자 : 권오현, E-mail: haemuri@asc.ac.kr

논문접수일 : 2011년 12월 27일 / 수정접수일 : 2012년 12월 28일 / 게재승인일 : 2012년 02월 09일

내게 된다(Ozdemir 등, 2001). 특히, 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 가장 큰 손상 중에 하나는 보행 장애이며(Hesse, 2003), 뇌졸중 환자들의 기능 훈련에서 가장 중점적으로 생각하는 것이 독립적인 보행이다(Bohannon 등, 1991).

정상적인 보행(normal gait)은 조화된 사지의 운동을 통하여 최소의 에너지를 이용하여 효과적으로 신체의 무게 중심을 이동시키는 것으로(Ford 등, 2007), 양 하지의 율동적인 움직임과 교대 운동을 통하여 대칭성 보행을 하는 것이 중요 하다(Mauritz, 2002). 또한 정상적인 보행 시 상지의 자연스러운 움직임이 일어나며, 이러한 움직임은 단순한 수동적 진자 운동이 아니라 보행에 영향을 미치는 특징을 가지고 있다(Elftman, 1939).

하지만 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행 특징은 마비 측의 체중 부하 량이 감소하며(Rogers 등, 1993), 마비 측 하지의 보폭 감소와 함께 비대칭성이 증가하고(Hesse, 2003), 건측발과 양측 발이 지면에 오랫동안 닿고 있는 지연 현상이 나타난다(Olney 등, 1994). 그 뿐만 아니라 편마비 환자의 상지에서는 하지의 비대칭성과 더불어 마비 측 상지의 움직임 제한이 나타나 보행을 할 때 상지의 비대칭성이 증가하게 된다(Wagenaar와 van Emmerik, 2000).

일반적으로 정상인을 대상으로 상지의 움직임이 보행에 미치는 영향에 대한 연구결과들은 상지를 사용하지 못하게 제한하였을 때 보다 상지를 의식적으로 흔들었을 때 보폭(step length), 걸음 빈도(stride frequency), 보행속도(gait velocity)가 증가되며(Eke-Okoro 등, 1997), 오히려 자연스러운 팔 흔들기보다 강력하게 팔 흔들기를 하였을 때 체간 중심 이동과 지면 반발력이 증가한다고 보고 했다(Lulic 등, 2008). 또한 Stephenson 등(2010) 연구에 의하면 상지의 움직임을 통하여 족관절의 가동범위가 증가하고 체간의 안정성이 증가 한다고 보고 하였다. 이러한 연구들을 바탕으로 최근 뇌졸중으로

인한 편마비 환자의 대칭적인 상지 흔들기 운동을 통하여 보행 속도를 증가 시킬 수 있다는 연구를 발표하고 있다(신준호 등, 2010).

하지만 뇌졸중으로 인한 편마비 환자는 환측 상지의 능동적인 움직임이 제한되어 있으며, 체간을 회전시키지 않고 보행을 하려는 특징을 가지므로 정상인을 대상으로 한 연구와는 다른 양상을 보이게 될 것이다. 또한 선행 연구에서는 뇌졸중환자를 대상으로 팔 흔들기 훈련을 통하여 보행 속도에 관한 연구만을 하였고 실제 팔을 흔들었을 때와 팔을 고정한 조건에 대한 연구는 하지 않았다.

따라서 본 연구에서는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 팔 흔들기 조건에 따라 시공간적인 보행 변수에 미치는 영향에 대하여 알아보려고 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상

본 연구의 대상자는 뇌혈관질환으로 인하여 편마비로 진단을 받고 병원에서 입원치료를 받고 있는 환자 총 16명을 대상으로 하였다. 모든 대상자는 실험에 참가하기 전 연구 목적과 방법에 대하여 충분한 설명을 듣고, 이에 자발적 동의를 한 후 참가 하였으며 대상자의 선정기준은 뇌혈관질환으로 인한 편마비로 발생 기간이 3개월 이상인 자, 한국형 간이 정신검사에서 24점 이상인 환자로 의사소통이 가능한 자, 보행 보조 도구를 사용하지 않고 독립적 보행이 6분 이상 가능한 자, 시야 결손과 전정기관에 이상이 없는 자, 상지와 하지에 정형 외과적 병력이 없는 자, 상지의 근 긴장도가 Modified ashworth scale(MAS)이 2이상 3미만인자로 선정 하였고 대상자의 일반적인 특성은 다음과 같다(table 1).

### 2. 연구 방법

Table 1. General characteristics of subjects

	Hemorrhage / Infarction	Left / Right	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	Onset time (month)	MAS
Subject	8 / 8	8 / 8	57.5±7.5	165.7±9.7	61.5±11.5	8.5±4.1	2.31±.48

### 1) 연구 절차

본 연구 설계방법은 모든 연구대상자들을 순서 없이 모든 실험처치에 참여시키는 무작위 배정 교차 설계(randomized cross-over trial)로 설계 했다. 본 연구에 참여한 16명의 대상자는 다음과 같은 세 가지의 조건이 다른 상지 흔들기를 통하여 보행을 실시하였다. 다른 조건의 팔 흔들기를 적용하기 전 본 연구의 대상자는 각 조건에 맞는 팔 흔들기를 선행 학습 하였다. 본 연구에서는 세 가지의 조건을 다음과 같은 방법으로 기준을 정하였다. (1) 팔을 고정하기 조건: 팔을 고정하기 조건은 환측과 건측의 팔을 상지 고정 벨트를 이용하여 주관절을 기준으로 하여 상부와 하부에 스트랩을 이용하여 상지를 움직이지 못하도록 하였다. (2) 팔을 자연스럽게 흔들기 조건: 팔을 자연스럽게 흔들기 조건은 보행 시 건측 건관절에서는 45도 이상 굴곡이 발생 하지 않도록 하였으며, 환측의 건관절에서는 수의적인 굴곡 각도의 50%미만으로 발생 하도록 지시 하였다. (3) 팔을 의식적으로 흔들기 조건: 팔을 의식적으로 흔들기를 하는 조건은 건측 건관절에서 45도 이상 90도 미만으로 굴곡이 발생 하도록 하였으며, 환측의 건관절에서는 수의적인 굴곡 각도의 50% 이상 굴곡이 발생 하도록 지시하였다. 본 연구는 무작위 배정으로 추천된 팔 흔들기 순서 데로 측정을 하였으며 총 3회 반복한 평균값을 제시 하였다. 그리고 환자들의 피로감을 줄이기 위하여 상지 흔들기 조건 간 한 시간의 휴식 시간을 가졌다.

### 3. 측정 방법

#### 1) 시공간적 변수 측정

본 연구에서는 실험 전·후 보행 성취도를 측정하기 위해 판(plate) 형태인 RS-scan system(RS scan Ltd, 독일)을 이용하였다. RS-scan system은 2m 판위를 대상자가 보행하는 동안 시공간적 변수(spatial-temporal parameters)를 측정하고 분석하는 장비이다(Blanc 등, 1999). 보행 하는 동안 시공간적인 값은 footscan 7 gait 2nd generation 시스템을 통하여 초당 126 frame에 비율로 수집 되었다. 보행 특성 중 환측과 건측의 보폭(step length), 활보장

(stride length), 양하지 지지기(double support time), 단하지 지지기(single support time), 보행속도(gait velocity)를 측정 하였고, 대칭성은 보폭의 비율, 활보장의 비율, 단하지 지지기 비율을 계산하여 제시 하였다. 측정 순서는 먼저 대상자의 키와 체중을 측정하여 RS-scan system 프로그램에 입력하였다. 치료사는 2m 판을 바닥에 깔고 난 후 실험 대상자에게 무작위 배정한 세 가지 조건의 팔 흔들기를 하면서 2m 판 위를 걷도록 지시 한 후 지시사항을 중간에 멈추지 않게 요구 했다. 대상자는 보행 관전방 3m 앞에서 있도록 한 후 측정자의 구두 지시에 따라 보행을 시작하였고 보행 판을 지나 3m까지 간 후 정지하도록 하였다.

건측과 환측의 시공간적인 보행 변수에 대한 대칭성 비율을 알아보기 위하여 계산한 공식은  $1 - (\text{affected side} / \text{unaffected side})$ 로 각각 표기 하였고, 0에 가까울수록 대칭성이 크다는 것을 의미 한다(Hsu 등, 2003).

### 4. 자료 분석

수집된 자료는 SPSS PC version 12.0을 이용하였다. 정규성 검정은 Shapir-Wilk 방법으로 시행하였고, 결과 모든 변수가 정규분포 하였다. 팔 흔들기 조건에 따른 보행 지수를 알아보기 위하여 반복측정 분산분석(repeated measure ANOVA)을 실시하였으며 팔 흔들기 조건간의 차이를 알아보기 위하여 사후검정으로는 본페로니수정법(Bonferroni)을 사용하였고 유의 수준은  $\alpha = .05$ 로 하였다.

## III. 결 과

### 1. 보폭 (step length)

팔 흔들기 조건 간 건측, 환측, 보폭의 대칭성에 대한 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며( $p < .05$ )(table 1), 사후 검정 결과 보행 시 팔을 고정하기 조건과 팔을 자연스럽게 흔들기를 하는 조건 보다 팔을 의식적으로 흔들기를 하는 조건이 있을 때 환측과 건측의 보폭이 통계적으로 유의하

게 증가 되었다( $p<.05$ ). 하지만 보폭의 대칭성에서는 팔을 고정하기 조건이었을 때가 팔을 자연스럽게 흔들기를 하는 조건과 팔을 의식적으로 흔들기를 하는 조건보다 대칭성이 유의하게 향상 되었다( $p<.05$ ).

## 2. 활보장 (stride length)

팔 흔들기 조건 간 건측, 환측, 활보장의 대칭성에 대한 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며( $p<.05$ )(table 1), 사후 검정 결과 보행 시 팔을 고정하기 조건과 팔을 자연스럽게 흔들기를 하는 조건 보다 팔을 의식적으로 흔들기를 하는 조건이었을 때 환측과 건측의 보폭이 통계적으로 유의하게 증가 되었다( $p<.05$ ). 하지만 활보장의 대칭성에서는 팔을 고정하기 조건이었을 때가 팔을 자연스럽게 흔들기를 하는 조건과 팔을 의식적으로 흔들기를 하는 조건보다 대칭성이 유의하게 향상 되었다( $p<.05$ ).

## 3. 한발지지기 (single support time)

팔 흔들기 조건 간 건측, 환측, 한발지지기의 대칭성에 대한 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며( $p<.05$ )(table 2), 사후 검정 결과 보행 시

팔을 고정하기 조건과 팔을 자연스럽게 흔들기를 하는 조건 보다 팔을 의식적으로 흔들기를 하는 조건이었을 때 환측과 건측의 보폭이 통계적으로 유의하게 증가 되었다( $p<.05$ ). 하지만 한발지지기의 대칭성에서는 팔을 고정하기 조건이었을 때가 팔을 자연스럽게 흔들기를 하는 조건과 팔을 의식적으로 흔들기를 하는 조건보다 대칭성이 유의하게 향상 되었다( $p<.05$ ).

## 4. 두발지지기 (double support)

팔 흔들기 조건 간 두발지지기에 대한 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며( $p<.05$ )(table 2), 사후 검정 결과 보행 시 팔을 고정하기 조건과 팔을 자연스럽게 흔들기를 하는 조건이었을 때 보다 팔을 의식적으로 흔들기를 하는 조건일 때 두발지지기가 유의하게 감소되었다( $p<.05$ ).

## 5. 보행속도 (gait velocity)

팔 흔들기 조건 간 보행속도에 대한 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며( $p<.05$ )(table 2), 사후 검정 결과 보행 시 팔을 고정하기 조건과 팔을 자연스럽게 흔들기를 하는 조건이었을 때 보다

Table 2. The comparisons of arm swing conditions.

Variable	Self-selected arm swing <sup>a</sup>	Constraint arm swing <sup>b</sup>	Emphasis arm swing <sup>c</sup>	F	post-hoc
Affected step length (cm)	26.97±3.81	27.20±5.78	30.75±6.96	10.49*	a=b<c
Non affected step length (cm)	25.64±6.41	26.49±5.79	32.28±6.13	16.01*	a=b<c
step length ratio (%)	.16±.13	.06±.02	.16±.07	7.45*	a=c<b
Affected stride length (cm)	47.78±10.05	49.41±12.52	54.12±12.71	33.33*	a=b<c
Non affected stride length (cm)	49.63±10.66	51.33±14.19	58.55±11.59	23.77*	a=b<c
stride length ratio (%)	.10±.08	.04±.02	.09±.04	5.72*	a=c<b
Affected single support time (ms)	266.04±66.06	277.27±65.79	340.58±82.64	24.55*	a=b<c
Non affected single support time (ms)	512.08±148.26	499.38±103.07	547.71±140.61	2.43	a=b=c
single support time ratio (%)	1.14±.25	.60±.14	.96±.21	5.84*	a=c<b
Double support time (ms)	779.79±143.21	723.75±138.79	573.96±123.46	16.72*	a=b<c
Gait velocity (km/h)	1.87±.17	2.03±.21	2.83±.21	31.31*	a=b<c

\* $p<.05$

Mean±SD

팔을 의식적으로 흔들기를 하는 조건일 때 보행속도가 유의하게 빨라졌다( $p < .05$ ).

#### IV. 고 찰

일반적으로 정상적인 보행을 하는 동안 팔 흔들기와 다리 흔들기는 교대로 나타난다(Wagenaar와 van Emmerik, 2000). 하지만 뇌졸중으로 인한 편마비 환자에게는 편측의 마비로 인하여 보행 시 양팔의 대칭성과 진자 운동을 방해 받게 되어 기능적인 보행을 하는데 어려움이 있다(Brooke 등, 1991). 따라서 본 연구에서는 팔 흔들기의 다른 조건들이 뇌졸중 환자의 보행 시 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

팔 흔들기 조건 간 보행에 미치는 영향에 대해 알아보기 위하여 본 연구에서는 정상인을 대상으로 한 선행 연구를 수정하여 팔을 자연스럽게 흔드는 조건과 양측 팔을 고정하는 조건, 그리고 팔을 의식적으로 흔드는 세 가지 조건을 적용 하였다(Eke-Okoro 등, 1997; Ford 등, 2007).

본 연구 결과 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 팔 흔들기 조건에 따라 보행 지수에는 유의한 차이를 나타내었다. 팔을 의식적으로 흔들기를 한 조건에서는 팔을 자유롭게 흔들기를 하거나 팔을 고정하는 조건보다 환측과 건측의 보폭 및 활보장이 증가되었고 환측과 건측의 한발 지지기 시간도 증가되는 양상을 보였으며 그와 함께 두 발 지지기는 감소하면서 보행 속도는 증가 하였다.

이러한 결과는 Ford 등(2007)의 연구에서 10명의 건강한 성인을 대상으로 상지를 제한하지 않은 상태와 우세 상지, 그리고 비우세 상지를 각각 제한하였을 때, 골반과 흉부, 체간의 회전이 감소되고 상지의 움직임에 제한이 없을 때 상지와 하지의 협조성이 향상되면서 보행 속도가 증가된다고 보고 하였다. 선행 연구와 유사하게 본 연구에서도 건측과 환측을 의식적으로 흔들었을 때 상지와 하지의 협조성이 증가 되고 제한이 나타나는 환측 팔의 가동 범위가 증가 되므로써 보행 속도가 증가 되었을 것이라고 생각 된다. 또한 Meyns 등(2011)은 뇌성 마비 아동 60명을 대상으로 보행 속도에 따른 팔

흔들기에 대한 관련성 분석에서 손상된 팔 흔들기 길이와 체간 회전과의 상관관계가 있음을 나타냈고, 특히 손상된 지절의 팔 흔들기 범위 증가는 보행 속도와 관련성이 더 크다는 것을 보고 하였다. 본 연구에서도 대상자가 환측의 팔을 의식적으로 전후방으로 흔들기를 증가시키면서 체간의 회전성이 증가되고 보행 속도 또한 증가 되었을 것이라 사료 된다.

Lulic 등(2008)은 52명의 정상인을 대상으로 자연스럽게 팔 흔들기와 의식적으로 팔을 흔들었을 때를 비교한 결과 팔을 의식적으로 강하게 흔들었을 때 지면 반발력과 체간의 중심이동이 증가 된다고 보고 했다. 본 연구에서 또한 팔을 의식적으로 흔들었을 때 환측과 건측의 체간의 중심을 효과적으로 하지에 이동 시켜 한발서기 시간을 증가 시켰을 것이며 지면 반발력을 높여 두 발이 바닥에 닿아 있는 시간을 감소 시켰을 것이라 사료 된다.

또한 Eke-Okoro 등(1997)의 선행 연구에서는 13명의 건강한 성인을 대상으로 상지의 제한 형태에 따른 보행 패턴의 변화를 비교한 결과 편측 상지와 양측 상지를 스트랩(strap)으로 제한한 경우에 최대 보행속도가 감소하였으며, 걸음빈도(stride frequency)는 증가하고 활보장(stride length)은 감소를 나타낸다고 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구에서 환측과 건측을 제한한 조건에서 팔을 의식적으로 흔들기를 한 조건 보다 시공간 보행 지수가 감소한 것과 일치한다. 하지만 본 연구에서는 자연스럽게 팔 흔들기를 시행한 조건에서 또한 시공간지수가 감소하게 되었는데, 이러한 이유는 본 연구의 대상자가 정상인을 대상으로 한 것이 아니라 뇌졸중으로 인한 편마비 환자라는 특성을 가지고 있다. 그러므로 자연스럽게 팔 흔들기를 실시 할 때 건측 팔의 움직임은 있지만 환측팔의 움직임에 제한을 받게 되면서 선행 연구의 결과와 일치 하게 나타난 것으로 사료 된다.

하지만 본 연구에서는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 팔을 고정 한 조건에서 팔을 자유롭게 흔들기를 하거나 팔을 의식적으로 흔들기를 한 조건보다 보폭과, 활보장 및 한발서기 대칭성이 증가하였지만, 팔을 의식적으로 흔들기를 하거나 자연스럽게

흔들기를 하였을 때는 비대칭성이 오히려 증가 하였다. 이와 같은 결과는 Ford 등(2007)의 연구에서 편측 상지를 고정 하였을 때 오히려 반대 측 상지의 진자 운동이 증가 된다는 연구와 유사 하였다. 그 이유는 본 연구의 대상자는 정상인의 편측 상지를 고정 한 것과 같은 병리적인 특성을 가지고 있는 편마비 환자로써 마비된 환측 보다는 건측의 상지를 더 많이 사용하면서 흉부 수평 회전의 양이 달라지고 이로 인하여 골반에서의 수평 회전이 비대칭적으로 변하게 되며(Kubo 등, 2004; LaFiandra 등, 2003), 이러한 회전의 비대칭성이 보폭과 보장 및 한발서기의 비대칭성 비율을 증가 시켰을 것이라 사료 된다.

또 다른 이유로는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자는 보행 시 상지 근육들의 비정상적인 동시 활성화(coactivation)이 발생되며, 편마비 환자의 상지에서는 집단적 굴곡패턴(mass flexion pattern)이 발생하고 하지에는 신전패턴(mass extension pattern)이 발생한다(김종만과 이충휘, 2001). 따라서 팔을 의식적으로 흔들기를 하거나 자연스럽게 팔 흔들기를 하였을 때에는 상지의 굴곡 패턴과 하지의 신전 패턴이 발생 할 수 있기 때문에 팔을 신전하여 고정 시킴으로 인하여 몸통과 하지 조절을 쉽게 할 수 있었을 것이라 사료 된다.

하지만 본 연구에서는 몇 가지 제한 점을 가지고 있다. 먼저 대상자의 수가 모든 뇌졸중 환자를 일반화하기에는 부족 하며 환측 상지에서 움직이는 각도를 정확하게 규정 하지 못하였다. 따라서 향후 연구에서는 대상자 수를 늘리고 환측의 팔 흔들기 강도를 정확하게 규정하여 상지 흔들기가 보행에 미치는 영향에 대하여 연구해야 할 것이다.

## V. 결 론

본 연구에서는 16명의 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 팔 흔들기 형태에 따른 보행변수를 알아본 결과 팔 의식적으로 팔 흔들기를 하였을 때에는 시공간 보행 지수가 증가하게 된다. 하지만 오히려 환측과 건측의 비대칭성이 증가하는 특징을 보이게 된다. 반면 건측과 환측 팔을 고정 하였을 때에는

환측과 건측의 시공간 지수가 대칭성이 증가하게 된다. 따라서 본 연구에서는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행 훈련에서 팔 흔들기에 대한 관점을 시공간 지수의 향상과 대칭성이라는 다른 관점으로 팔 흔들기 훈련을 적용해야 할 것이라 생각 된다.

## Acknowledgements

이 논문은 2011학년도 안동과학대학 교육역량강화사업 교원 R&D 학술연구비지원에 의한 논문임.

## 참 고 문 헌

김종만, 이충휘. 신경계물리치료학. 서울, 정담미디어, 2001.

신준호, 오덕원, 김진섭. 노르딕 보행 훈련이 뇌졸중 환자의 보행 능력에 미치는 효과. 특수교육재활과학연구. 2010;49(2):181-94.

Blanc Y, Balmer C, Landis T et al. Temporal parameters and patterns of the foot roll over during walking: normative data for healthy adults. *Gait Posture*. 1999;10(2):97-108.

Bohannon RW, Horton MG, Wikholm JB. Importance of four variables of walking to patients with stroke. *Int J Rehabil Res*. 1991;14(3):246-50.

Brooke MM, de Lateur BJ, Diana-Rigby GC et al. Shoulder subluxation in hemiplegia: effects of three different supports. *Arch Phys Med Rehabil*. 1991;72(8):582-6.

Eke-Okoro ST, Gregoric M, Larsson LE. Alterations in gait resulting from deliberate changes of arm-swing amplitude and phase. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1997;12(7-8):516-21.

Elftman H. The function of the arms in walking. *Human Biology* 1939;11(1):529-35.

Ford MP, Wagenaar RC, Newell KM. Arm constraint and walking in healthy adults. *Gait Posture*. 2007; 26(1):135-41.

Hesse S. *Rehabilitation of Gait After Stroke: Evaluation, Principles of Therapy, Novel Treatment Approaches*,

- and Assistive Devices. *Topics in Geriatric Rehabilitation*. 2003;19(2):109-26.
- Hsu AL, Tang PF, Jan MH. Analysis of impairments influencing gait velocity and asymmetry of hemiplegic patients after mild to moderate stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84(8):1185-93.
- Kubo M, Wagenaar RC, Saltzman E et al. Biomechanical mechanism for transitions in phase and frequency of arm and leg swing during walking. *Biol Cybern*. 2004;91(2):91-8.
- LaFiandra M, Wagenaar RC, Holt KG et al. How do load carriage and walking speed influence trunk coordination and stride parameters? *J Biomech*. 2003;36(1):87-95.
- Lulic TJ, Susic A, Kodvanj J. Effects of arm swing on mechanical parameters of human gait. *Coll Antropol*. 2008;32(3):869-73.
- Mauritz KH. Gait training in hemiplegia. *Eur J Neurol*. 2002;9(1):53-61.
- Meyns P, Van Gestel L, Massaad F et al. Arm swing during walking at different speeds in children with Cerebral Palsy and typically developing children. *Res Dev Disabil*. 2011;32(5):1957-64.
- 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;74(9):872-85.
- Ozdemir F, Birtane M, Tabatabaei R et al. Cognitive evaluation and functional outcome after stroke. *Am J Phys Med Rehabil*. 2001;80(6):410-5.
- Rogers MW, Hedman LDPai YC. Kinetic analysis of dynamic transitions in stance support accompanying voluntary leg flexion movements in hemiparetic adults. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993;74(1):19-25.
- Stephenson JL, De Serres SJLamontagne A. The effect of arm movements on the lower limb during gait after a stroke. *Gait Posture*. 2010;31(1):109-15.
- Wagenaar RC, van Emmerik RE. Resonant frequencies of arms and legs identify different walking patterns. *J Biomech*. 2000;33(7):853-61.
- Whitall J. Stroke rehabilitation research: time to answer more specific questions? *Neurorehabil Neural Repair*. 2004;18(1):3-8.