

계단 오르기 동안 지면 접촉 조건에 따른 뇌졸중 환자의 근활성도 비교

윤혜진 · 오덕원* · 김경환 · 기경일

보니파시오요양병원 물리치료실, *대전대학교 보건스포츠과학대학 물리치료학과

Comparison of different ground contacts on muscle activation of post-stroke hemiparesis during step-up activity

Hye-Jin Youn, P.T., Duck-Won Oh, P.T. Ph.D.*,
Kyung-Hwan Kim, P.T., M.Sc., Kyong-Il Ki, P.T., B.H.Sc.

Dept. of Physical Therapy, Bonifacio Hospital

**Dept. of Physical Therapy, College of Health Sports Science, Daejeon University*

ABSTRACT

Purpose : This study aimed to investigate the effect of differing ground contact conditions on the eletromyographic(EMG) activity in rectus femoris, biceps femoris, tibialis anterior, gastrocnemius medialis during step-up activity in patients with hemiparesis.

Methods : 10 hemiparetic patients performed step-up activity on three different ground contact conditions: entire ground contact, 2/3 ground contact, 1/3 ground contact.

Result : The EMG activities of gastrocnemius medialis significantly changed on 1/3 ground contact($p<.05$). However, no significant changed rectus femoris, biceps femoris, tibialis anterior between three differing ground contact conditions ($p>.05$).

Conclusion : This study provides that EMG activities of gastrocnemius medialis significantly changed on different ground contacts. Therefore, this method can be used to strengthen the gastrocnemius medialis.

Key Words : Hemiparesis, Step-up, Muscle activity, Ground contact condition.

I. 서 론

뇌졸중으로 인해 나타나는 편마비는 운동 기능 장애, 의식 장애, 인지 및 지각 장애, 감각 장애, 언어 장애(Kotila 등, 1984)의 기능 장애로 인해 일상생활동작의 독립적 수행에 많은 영향을 미친다(Anderson, 1990; 김유철 등, 1992). 특히 뇌졸중 환자들은 보행과 관련된 일상 생활에서 어려움을 느끼며(Eich 등, 2004), 보행 장애는 주로 하지 근력 약화로 인해 발생된다(Engart 등, 1995). 편마비 환자의 하지 근육의 약화는 슬관절 신전근과 굴곡근 그리고 족관절 저축 굴곡근 및 배측 굴곡근에서 주로 나타나기 때문에 이들 근육에 대한 효율적인 관리가 매우 중요하다(Andersen과 Sinkjaer, 1996; Wiely 등, 1998). 일상 생활에서 하지의 활동은 주로 체중지지 상태에서의 다관절, 닫힌사슬 운동(closed kinetic chain) 형태로 많이 나타나며, 이러한 경우 단관절, 열린사슬운동(open kinetic chain) 시 근육 활성화 양상과 매우 다르게 발생된다(Blundell 등, 2003). 따라서 하지 근력 강화를 위해 체중을 이용한 과제 지향적 훈련 등이 추천되고 있다(Carr와 Shepherd, 1987).

계단 오르기 등의 계단 보행 동작은 평지 보행과 더불어 인체의 이동 수단으로 빈번히 사용되고 있는 것으로, 지지하는 발의 이동이 교차적으로 반복된다는 점과 양 발이 함께 지지하는 순간이 있다는 점에서 평지 보행과 비슷하다. 그러나 계단 오르기 동작은 평지 보행에 비해 더 큰 하지 관절에서의 힘과 운동 범위를 요구한다(Andriacchi와 Miko, 1991). 계단을 오르는 동안 하지의 무릎 신전근과 발목 저축 굴곡근이 주요 근육으로 작용하며, 몸을 이동시키려는 근육 추진력은 한 쪽 다리가 계단에 착지하는 순간부터 반대 다리의 중간 체공기(1주기 보행의 32% 지점)까지의 구간에서 가장 많이 발생된다(McFadyen과 Winter, 1988).

최근 계단 오르기와 관련된 선행연구들은 계단 오르기 시 역학적 요구가 평지 보행에 비해 더 높다고 보고되고 있으며(Christina와 Cavanagh, 2002; Riener 등, 2002), 이는 편마비 환자의 근력 회복과 보행 기능 향상을 위해 시행되는 과제 지향적 훈련 방법의 기본적

인 치료개념으로 여겨지고 있다. Dean 등(2000)은 계단 한 단을 앞, 뒤, 옆으로 오르는 동작을 편마비 환자의 하지 기능 향상을 위한 프로그램에 포함시킬 것을 권고하였으며, Salbach 등(2004)은 보행 기능 향상을 위한 과제 지향 훈련 방법으로 계단 오르내리기 과제의 중요성을 강조하였다.

계단 오르기 동작을 수행하는 동안 지지면 접촉 수준은 족부로부터의 체성감각(somatosensory) 정보 유입에 직접적으로 관계되며, 이는 자세 조절 기전에서의 변화를 초래하게 된다. 또한 자세정위(postural orientation)에 대한 자극을 통해 감각계 및 운동계, 그리고 스스로의 자세 조절과 관련된 자세 전략(postural strategy)에 영향을 미칠 수 있다(Shumway-Cook과 Wollacott, 2007). 지지면의 넓이에 차이가 있는 경우 과제 수행 시 생체 역학적인 변화가 나타날 수 있으며(Mercer와 Sahrmann, 1999), 지지면 변화에 따른 불안정성의 증가로 인하여 안정성 확보를 위한 하지 근활성도가 변화될 수 있다(이심철 등, 2010). 그러나 지지면의 안정성에 대한 선행 연구들은 대부분 지지면의 불안정성을 유발한 후 이에 대한 효과를 측정하는 것으로 시행되었으며(배수찬 등, 2001), 계단 오르기 동안 접촉한 지면의 넓이에 따른 하지 근활성도를 측정하고 비교한 연구는 미비하였다.

따라서 본 연구에서는 뇌졸중 환자의 계단 오르기 동작 시 지지면의 변화에 따른 하지 근육들의 활성도를 비교하는 것을 목적으로 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구는 연구의 내용을 이해하고 실험에 참여하기로 동의한 10명의 환자를 대상으로 시행되었다. 본 연구는 발병기간이 6개월 이상인 만성 뇌졸중 환자, 계단 오르기 수행이 가능한 환자, 연구 결과에 영향을 미칠 수 있는 심호흡계 질환이나 정형외과적 질환이 없는 환자, 그리고 인지 장애가 없는 환자(한국어판 간이정신상태 검사에서 24점 이상)를 대상으로 시행되었다(권용

표 1. 연구대상자의 일반적 특성

	실험군 (N=10)
성별 (남/여)	7/3
연령 (세)	48.86±5.67 ^a
신장 (cm)	166.66±7.72
체중 (kg)	74.99±8.98
뇌졸중 유형 (뇌경색/뇌출혈)	4/6
마비부위 (좌측/우측)	4/6
MAS ^b (G0/G1/G1+)	3/5/2
발병기간 (개월)	28.57±15.30
MMSE-K ^c	26.43±3.21

^a평균±표준편차^b수정된 강직 등급 척도(Modified Ashworth Scale)^c한국어판 간이정신상태 검사(Mini-Mental State Examination-Korean version)

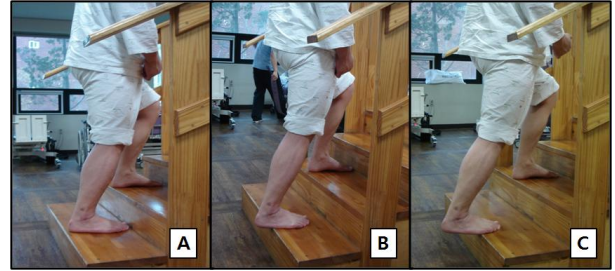
*p<.05

철 등, 1989). 최초 대상자 선정 기준을 만족하는 11명의 환자를 대상으로 실험이 시행되었으나, 실험 중간에 1명이 하지 통증으로 인해 실험에 계속 참여하는 것을 거부하여 총 10명의 측정값이 결과 분석에 사용되었다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 다음과 같다(표 1).

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 계단은 양쪽에 난간이 있는 높이 15cm, 깊이 25cm, 그리고 너비 70cm의 계단을 이용하였고, 안전을 위해 실험 시 난간을 잡을 수 있도록 허용하였다. 근전도 측정은 시작 자세에서 마비측 다리를 계단 한 단 위로 올려 놓은 뒤 비마비측 다리가 계단을 오르는 동안 수행되었다. 측정 전 예비 연습을 통해 각 근육의 근전도 신호가 정상적인 신호를 나타내는 지 확인한 후 본 실험을 실시하였으며, 대상자들의 계단 오르기 속도를 일정하게 유지하기 위해 미리 정해진 메트로놈의 속도에 따라 3회 예비 연습을 시행하였다. 메트로놈 속도는 1초 동안 계단 한 단을 오르도록 조절하였으며, 지지면의 넓이는 발의 전체 접촉 면적을 통해 결정되었다. 실험은 지지측 하지의 발바닥이 완전 지면 접촉을 하고 있는 조건, 2/3 지면 접촉, 그리고 1/3 지면 접촉 등 총 세 가지 조건에서 시행되었으며,

세 조건의 적용 순서는 무작위로 정하였다. 근전도 측정은 각 조건에 3회 시행하였고, 반복 측정 사이의 휴식은 1분으로 설정하였으며, 측정에 대한 평균값을 분석에 이용하였다(그림 1).



(A) 완전 지면 접촉 조건, (B) 2/3 지면 접촉 조건, (C) 1/3 지면 접촉 조건.

그림 1. 계단 오르기 동안 지면 접촉 조건.

3. 근전도 및 자료 처리

근활성도 측정은 4개의 채널이 있는 표면 근전도(QEMG-4 System, LXM 3204; Laxtha, Daejeon, Korea)를 사용하였다. 전기적 근활성도 측정값을 수집하기 위해 지름이 11.4 mm인 Ag/AgCl 표면전극(3M, USA)을 사용하였다. 근활성도를 측정하기 전에 피부 저항을 줄이기 위해 측정부위에 면도기로 털을 제거하고 의료용 알코올 솜으로 깨끗이 닦아낸 다음 마비측 대퇴직근(rectus femoris), 대퇴이두근(biceps femoris), 전경골근(tibialis anterior), 비복근 내측부(gastrocnemius medialis)에 근섬유와 같은 방향으로 표면 전극을 부착하였다. 표면 전극은 Cram 등(1998)의 방법에 따라 부착하였으며, 근육 군 사이의 혼선을 최소화하기 위해서 근육의 중간 지점 위로 2cm 간격을 두고 부착하였다. 대퇴직근의 근전도 신호를 측정하기 위한 전극은 전상장골극(anterior superior iliac spine)에서 슬개골(patella)의 상극점(superior pole)까지 거리의 1/2인 지점에 부착하였으며, 대퇴이두근을 위한 전극은 좌골결절(ischial tuberosity)에서 비골두(fibular head)까지 거리의 1/2인 지점에 부착하였다. 전경골근을 위한 전극은 슬관절의 외측상과(lateral epicondyle)에서 족관절의 외측과(lateral malleolus)의 상위 1/4인 지점에 부착하였

으며, 비복근 내측부를 위한 전극은 슬관절의 내측상과 (medial epicondyle)에서 종골(calcanus)까지 거리의 1/3 지점에 부착하였다. 접지 전극(ground electrode)은 내측 복사뼈에 부착하였다.

근전도 측정 환경으로 표본 추출률(sampling rate)은 1024 Hz였으며, 근전도 신호는 1785 배로 증폭되었고 잡음을 최소화하기 위하여 대역통과(band-pass) 필터는 20~450 Hz로 노치(notch) 필터는 60 Hz로 설정되었다. 수집된 자료는 근전도 소프트웨어인 Telescan 2.89(Laxtha, Daejeon, Korea)를 사용하여 처리되었으며, 근 활성도는 제곱평균제곱근(root mean square)을 구하여 분석되었다.

4. 분석 방법

본 연구의 자료처리는 윈도우용 SPSS 12.0을 사용하여 분석하였다. 대상자의 일반적 특성은 빈도분석과 기술통계를 사용하여 제시되었다. 세 가지 지지면의 조건에 따른 근육의 활성도를 비교하기 위하여 반복측정 분산분석(repeated ANOVA)을 사용하였다. 통계학적으로 유의한 차이가 나타난 경우 사후 검증(post-hoc)으로 Bonferroni법을 사용하였다. 통계적 유의성 검증을 위해 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

III. 연구 결과

계단 오르기 수행 시 지지면 조건에 따른 마비측 대퇴직근, 대퇴이두근, 전경골근, 비복근의 근활성도 변화는 표 2에 제시되었다. 완전 지면 접촉 조건, 2/3 지면

접촉 조건, 1/3 지면 접촉 조건 사이에서 대퇴직근, 대퇴이두근, 그리고 전경골근의 근활성도에는 유의한 차이가 없었다($p>.05$). 그러나 비복근의 근활성도는 세 조건 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p<.05$). 사후 검증 결과, 완전 지면 접촉 조건과 1/3 지면 접촉 조건, 완전 지면 접촉 조건과 2/3 지면 접촉 조건, 그리고 2/3 지면 접촉 조건과 1/3 지면 접촉 조건 사이에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

IV. 고 찰

일상생활을 하면서 계단 오르내리기는 빈번하게 수행되는 중요한 활동이다. 그러나 뇌졸중으로 인한 편마비 환자에게 계단 오르기 동작은 매우 불안정하며 낙상 사고의 원인이 될 수 있다. 계단 오르내리기 동작은 하지 근육들의 변화와 직접적으로 관계되며, 근 활성도는 지지면의 넓이 차이에 의해 변화될 수 있다(Mercer와 Sahrman, 1999). 이에 따라 본 연구에서는 정확한 분석을 위해 계단 오르기 동작을 수행하는 동안 지지면의 넓이 변화에 따른 하지 근육들의 활성도의 변화를 알아보하고자 하였다.

하지 근육의 활동은 근전도에 의해 구분할 수 있으며, 근전도는 근육의 활동에 의해 생산되는 전기적 활동을 기록한다. 근전도 기법은 보행 중 근육의 활성도와 활동 유형을 결정하는데 많이 사용되며, 본 연구에서는 하지 근육의 활성도 변화를 알아보기 위해 네가지 주요 하지 근육인 대퇴직근, 대퇴이두근, 전경골근, 비복근에 근전도의 표면 전극을 부착하여 지지기 동안의 활성도를 분석하였다(김유신, 2006). 계단 오르기 시

표 2. 발바닥 지지면의 조건에 따른 근활성도 비교 (N=10)

계단 오르기	발바닥 지지면의 조건			F
	완전 지면 접촉	2/3 지면 접촉	1/3 지면 접촉	
대퇴직근	44.88±8.62 ^a	44.81±11.26	51.33±12.60	3.686
대퇴이두근	56.12±24.61	51.20±21.17	58.85±28.49	1.327
전경골근	49.77±19.60	40.33±8.87	50.24±22.06	2.864
내비복근	43.92±14.59	52.25±16.42	67.28±23.27	16.485*

^a평균±표준편차

* $p<.05$

한 스텝에서 다음 스텝으로 전진하기 위해서는 발목관절의 저축 굴곡근과 함께 무릎의 신전근이 주된 역할을 한다(McFadyen과 Winter, 1988).

인체의 근육들은 불안정한 상태에서 수의적인 움직임을 할 때 높은 근활성도를 보인다(Aruin과 Latash, 1995). 안정성은 근골격계와 신경계의 복잡한 상호 작용에 의해 이루어지며(Shumway-Cook과 Woollacott, 2007), 양 하지 사이의 넓이뿐만 아니라 지면에 닿고 있는 발의 위치와도 관련이 있다(Holbein과 Redfern, 1997). 지지면의 넓이 차이는 과제 수행 시 생체 역학적인 변화를 야기시킨다(Mercer와 Sahrman, 1999). 이는 지지면 변화에 따른 불안정성을 증가시키고 안정성 확보를 위하여 근활성도의 변화를 보이게 된다(이심철 등, 2010). 넓은 지지면은 물체를 들거나 옮길 때 높은 효율을 가지며, 이는 편마비 환자의 이동에서 종종 보여진다(Laura 등, 1996).

Patricia 등(1989)은 힘판을 사용한 지지면에 관한 연구에서 걷기, 두발 서기, 세로로 나란히 서기, 한발 서기 자세에서의 지지면 넓이에 따른 힘판의 값을 비교하였다. 두발서거나 걷기자세보다 세로로 나란히 서기와 한발서기에서 수직힘(vertical force)이 크게 증가하였고, 또한 지지면의 넓이가 넓을 때 보다 좁을 때 근육이 더 많이 동원된다고 보고하였다. Kollmizer 등(2002)은 지지면의 넓이에 따른 하지의 근활성도와 체간의 근활성도를 알아보는 실험을 통해, 지지면의 넓이가 넓어지면 하지의 근활성도와 체간 근활성도가 작아진다고 보고하였다.

본 연구에서 발바닥의 지면 접촉 면적을 완전 지면 접촉을 하고 있는 조건과 2/3 지면 접촉, 1/3 지면 접촉의 세가지 조건으로 다르게 설정하여 지지면의 넓이를 적용하였을 때, 지지면의 넓이가 가장 작은 1/3 지면 접촉 시, 다른 조건들에 비해 내비복근의 활성도에서 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 이 결과는 계단 오르기 시 발목관절은 초기 접지부터 보행주기의 초기까지 배측굴곡 되다가 중반 이후 급격한 저축굴곡이 일어나는 것과 관계 될 것이다(김유신, 2006). 발목관절의 저축굴곡은 발 위에서 신체가 효율적으로 전방 이동되도록 해준다(Protopapadaki 등, 2007). 또한, 지지면의

변화에 의해 발목관절의 각도에 변화가 있었을 것이며, 신발 형태의 변화에 따른 하지 관절각과 근활성화를 비교한 연구에서 발목관절의 배측굴곡이 감소하고 저축굴곡이 증가한 신발의 형태에서 내측 비복근이 더 활성화되었다고 보고하였다(안송이, 2007).

족부 감각의 변화가 족저압과 하지의 근육 활동에 미치는 영향에 관한 연구에서 후족부 감각 감소 시 압력중심이 유의하게 전족부로 이동하고, 후족부의 압력감소는 전경골근의 활동 감소와 더불어 내비복근의 활동 증가를 야기한다고 보고하였다(Nurse와 Nigg, 2001). 또한 신체가 수직선을 넘어 전방으로 이동 할 때 내비복근의 활동이 증가된다는 연구 결과가 있다(Almeida 등, 2006). 본 연구에서 1/3 지면 접촉 시 내비복근의 유의한 근활성도 증가는 지면 접촉이 감소함에 따라 족부의 압력이 전방으로 이동하였기 때문이라 사료된다.

뇌졸중 환자의 마비측 하지 근력 약화는 보행 능력의 감소를 야기 시키며(Engart 등, 1995), 슬관절 신전근과 굴곡근, 그리고 족관절 저축굴곡근과 배측굴곡근에서 심한 약화를 보인다(Andersen과 Sinkjaer, 1996; Wiely와 Damiano, 1998). 특히, 내비복근은 보행의 중간 입각기에서 말기 입각기 동안 중요한 역할을 하며(Perry, 1992; Otter 등, 2003), 보행 속도와 유의한 상관관계가 있고 보행 속도를 예측하는 강력한 예후인자라고 하였다(Kim과 Eng, 2003). 따라서 본 연구에서 시행한 실험 방법은 뇌졸중 환자의 보행 속도 향상을 위한 약화된 내비복근 강화 훈련의 한 방법으로 제시될 수 있을 것이라 생각된다.

본 연구는 실험에 참여한 대상자수가 부족하여 연구 결과를 일반화 하는데 제한이 있을 것이며, 초기 변화만을 측정된 것으로 지속적인 훈련 효과를 볼 수 없었다. 또한, 계단 오르기 과제에 대한 운동학적 분석을 포함시키지 않아 정확한 결론을 도출하는 것이 어려울 것이다. 마지막으로 표면 근전도 측정으로 인해 나타나는 신호의 혼선은 정확한 근활성도 분석에 영향을 미칠 수 있었을 것이다.

V. 결 론

본 연구의 결과는 계단 오르기 시 지지면 넓이가 내비복근의 활성화도에 유의한 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 이 결과는 지지면의 넓이를 변화시켜 계단오르기 동작을 연습하는 것이 약화된 내비복근을 강화시키는 치료적인 방법으로 사용될 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 편마비 환자의 계단 오르기 동작에 관한 훈련은 재활치료의 마지막 단계에서 수행이 되며 일상생활을 수행뿐만 아니라 독립성을 높이기 위하여 반드시 필요한 것으로(Salbach, 2004) 편마비 환자의 재활훈련 시 계단 오르기 동작을 추가한다면 일상생활 중에 빈번히 접하는 계단 오르기를 원만히 수행하고, 독립적인 활동을 하는데 도움을 줄 수 있을 것이라 기대된다.

참 고 문 헌

- 권용철, 박중환. 노인용 한국판 Mini-Mental State Examination(MMSE-K)의 표준화 연구. 한국정신의학협회, 28(1):125-135, 1989.
- 김유신. 뇌졸중 편마비 환자의 계단보행에 관한 근전도 비교분석. 한국특수체육학회지, 14(1):1-15, 2006.
- 김유철, 장순자, 박미연 등. 뇌졸중환자의 보행에 영향을 미치는 인자. 대한재활의학회지, 16(4):443-451, 1992.
- 배수찬, 김근조, 윤홍일. 불안정한 지지면에서의 평형 훈련이 편마비 환자의 균형 능력에 미치는 영향. 대한정형물리치료학회지, 7(2):5-22, 2001.
- 안송이. 불안정성 신발이 보행 역학에 미치는 영향. 국민대학교 석사학위 논문, 2007.
- 이심철, 김택훈, 신현석 등. 중심 안정성 운동을 적용한 교각운동 시 지지면 불안정성이 체간 및 하지의 근 활성화도에 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지, 17(1):17-25, 2010.
- Almeida GL, Carvalho RL, Talis VL. Postural strategy to keep balance on the seesaw. *Gait Posture*, 23(1):17-21, 2006.
- Andersen JB, Sinkjaer T. Stretch reflex variations during gait. In: Pedotti A, Ferrarin M, Quintern J and Riener R. Neuroprosthesis from Basic Research to Clinical Application. Springer. Berlin: 45-50, 1996.
- Anderson TP. Rehabilitation of patient with complete stroke, In: Kottke FJ, Frederic J, Lehmann JF, Justus F, Krusen's handbook of physcial medicine and rehabilitation. W.B. Saunder's Company. Philadelphia; 656-678, 1990.
- Andriacchi TP, Miko RP. Musculoskeletal dynamics, locomotion and clinical applications, In: Basic Orthopaedic Biomechanics. Raven Press. New York; 51-92, 1991.
- Aruin AS, Latash ML. Directional specificity of postural muscles in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movements. *Exp Brain Res*, 103:323-332, 1995.
- Blundell SW, Shepherd RB, Dean CM, et al. Functional strength training in cerebral palsy: a pilot study of a group circuit training class for children aged 4-8 years. *Clin Rehabil*, 17(1): 48-57, 2003.
- Carr JH, Shepherd RB. A motor relearning programme for stroke. 2nd ed. Butterworth-Heinemann. Oxford; 1987.
- Christina KA, Cavanagh PR. Ground reaction forces and frictional demands during stair descent: effects of age and illumination. *Gait and Posture*, 15(2):153-158, 2002.
- Cram JR, Kasman GS, Holtz J. Introduction to surface electromyography. Aspen Pub. Gaithersburg; 1998.
- Dean CM, Richards CL, Malouin F. Task-related circuit training improves performance of locomotor tasks in chronic stroke: A randomized controlled pilot trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 81(4):409-417, 2000.
- Eich HJ, Mach H, Werner C, et al. Aerobic treadmill plus Bobath walking training improves walking in subacute stroke: a randomized controlled

- trial. *Clinical rehabilitation*, 18(6):640–651, 2004.
- Engart M, Knutsson E, Jonsson M, et al. Dynamic muscle strength training in stroke patients: effect on knee extension torque, electromyographic activity and motor function. *Arch Phys Med Rehabil*, 76(5):419–25, 1995.
- Holbein MA, Redfern MS. Functional stability limits while holding loads in various positions. *Int J Ind Ergon*, 19(5); 387–395, 1997.
- Kim CM, Eng JJ. The relationship of lower-extremity muscle torque to locomotor performance in people with stroke. *Phys Ther*. 83:49–57, 2003.
- Kotila M, Waltimo O, Niemi ML, et al. The profile of recovery from stroke and factors influencing outcome. *Stroke*, 15(6):1039–44, 1984.
- Laura KS, Elizabeth LW, Lehmkuhl LD. *Brunnstrom's Clinical Kinesiology*. 5th ed. F.A. DAVIS COMPANY. Philadelphia; 51–53, 1996.
- McFadyen B, Winter D. An integrated biomechanical analysis of normal stair ascent and descent. *Journal of Biomechanics*, 21(9); 733–744, 1988.
- Mercer VS, Sahrman SA. Postural synergies associated with a stepping task. *Phys Ther*, 79:1142–1152, 1999.
- Nurse MA, Nigg BM. The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. *Clin Biomeca*, 16(9):719–27, 2001
- Otter AR, Geurts ACH, Mulder T, et al. Speed related changes in muscle activity from normal to very slow walking speed. *Gait and Posture*, 19(3):270–278, 2004.
- Patricia AG, Timothy MB, Owen ME. Force platform measures for evaluating postural control: Reliability and Validity. *Arch Phys Meds Rehabil*, 70:510–517, 1989.
- Perry J. *Gait analysis—Normal and Pathological Function*. NY. McGraw–Hill. Inc. New York, 1992.
- Protopapadaki A, Drechsler WI, Cramp MC, et al. Hip, knee, ankle kinematics and kinetics during stair ascent and decent in healthy young individuals. *Clinical Biomechanics*. 22:203–210, 2007.
- Riener R, Rabuffetti M, Frigo C. Stair ascent and descent at different inclinations. *Gait and Posture*, 15:32–44, 2002.
- 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. *Clinical rehabilitation*, 18(5):509–519, 2004.
- Shinno N. Analysis of knee function in ascending and descending stairs. *Medicine and Sport* 6; 202–207, 1971.
- Shumway–Cook A, Woolacott MH. *Motor control: translation research into clinical practice*. 3rd ed. Lippincott Williams and Wilkins. Philadelphia; 2007.
- Wiley ME, Damiano DL. Lower–extremity strength profiles in spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*, 40(2):100–7, 1998.