

앉은 자세에서 일어서기(Sit to stand)과제의 동작시간과 지면반발력 분석

김 수 민

울산과학대학 물리치료과

The Analysis of Movement time and Ground Reaction Force during Sit to Stand Task in Healthy

Soo-min, Kim, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Ulsan College

ABSTRACT

Purpose : Sit-to-stand (STS) is one of the important activities of daily living (ADL) and each of its parameters is used frequently. This study aimed to examine the influence of different seat height on performance time and floor reaction force strength during an STS movement.

Methods : Fifteen young-adult male subjects participated in this study. The subjects were divided into three groups based on lower leg length. Subjects performed an STS movement twice from chairs at height adjusted by the lower leg length of each subject.

To examine the influence of the chair seat height, ground reaction forces during a STS performed with 3 chair heights adjusted to each subjects lower leg length were compared.

Results : Vertical ground reaction force and time during an STS movement were measured to evaluate. Parameters regarding ground reaction force were selected for analyses. Significant differences were found in ground reaction force at G1 was greater than G2 and G3.

Conclusion : The STS movement achievement strategy differed since chair seat height changes relatively by the difference in lower leg length. When conducting the ability to achieve STS movement rating test, chair seat height considering each subject's lower leg length may be needed.

Key Words : Sit to stand movement, Seat height, Lower leg length, Ground reaction force

I. 서 론

앉은 자세에서 일어서기(sit to stand; STS) 동작은 일상생활에서는 자주 수행될 뿐만 아니라 건강한 사람에게는 쉽게 성취되는 활동이므로, 독립적인 삶을 살아 가는데 필수적인 요소이다(Rodosky 등, 1989; Demura 등, 2003). 보행이나 다른 기본적인 일상생활동작(Activity of Daily Living; ADL)보다 선행되는 동작이라 할 수 있다(Hodge 등 1989). 앉은 자세에서 일어서는 능력은 직립자세로의 움직임 시작을 의미한다. 일어서기는 의자나 다른 자리로 이동할 수 있게 하고 나아가 보행을 가능하게 한다. 주변 환경에서 좀 더 높은 기능적 수준의 움직임을 가능하게 해준다. STS는 기본적인 ADL 동작 중 하나이기 때문에 신체 활동을 평가하는 기능적 수준을 반영하는 것으로 유용하고 실제적인 측정 도구로 사용되어져 왔다(Riley 등, 1991; American College of Sports Medicine, 2000; Yamada 등, 2009).

STS는 엉덩관절, 넓다리관절과 발에 의해 형성된 기저면에서 발로 중력중심을 이동시키는 것으로 수평과 수직 방향에서 신체 이동이 나타난다. STS는 앉은 자세에서 엉덩이가 기저면에 떨어지는 시점으로 다리와 발 위에서 앞으로 향하는 체간의 움직임과 엉덩이가 지면에서 떨어져 신체가 양발 위로 움직이는 기간으로 분류된다. 이 기간에 신체를 기저면에서 들어올리기 위해 하지 근력과 힘이 요구되고 새로운 기저면 위에서 새로운 기저면 위에서 중력중심을 움직이기 위한 균형조절이 요된다. 이 동작은 기저면은 좁아지고 중력중심은 높아진다. 움직임의 효과와 신체 구조는 각자가 선택한 체간 패턴에 따라 달라질 수 있고 개인적 차이는 두 발 사이의 체중 분배나 발 위치와 수행속도에서 생성되는 힘의 양과 같은 요소들은 환경과 과제에 따라 변할 수 있다(Ryerson & Levit, 1997).

의자의 형태, 대퇴의 지지 범위, 다리 길이와 관련된 의자의 높이 등은 동작 수행에 영향을 주는 요인이다. 일어나기 전에 발의 위치는 앞으로 이동하는 거리에 영향을 준다. 발이 신체보다 전방에 위치할수록 발에서 생성되는 잠재적인 힘을 극복하기 위해 보다 큰 엉덩관절 굽힘과 빠른 속도가 요구되고 신체가 앞으로 이동해

야 하는 거리가 커진다. 일어서기를 쉽게 하기위해서 발이 등쪽 굽힘(dorsiflexion)이 되도록 무릎관절 중심의 수직선으로부터 후방에 위치하는 것이 효율적이다(Shepherd & Koh, 1996).

일어서기 속도 연구에서는 대상자가 빨리 움직일 때 증가된 엉덩관절 굽힘 속도는 하지의 폼 근력에 잠재적인 영향을 준다. 대상자가 느리게 움직일 때 더 많은 지지력을 생산하기 위해 긴 시간이 소요되는 것을 알 수 있다(Carr & Shepherd, 2010). 서로 다른 높이의 의자에서 일어서기를 했을 때 하지 관절에 주어지는 힘 모멘트에 영향을 주게 되므로 의자의 높이(seat height)가 STS 수행에 있어서 중대한 영향을 미치는 요인이 된다(Rodosky 등, 1989; Yamada, 2007, 2009).

STS 하는 동안 발은 기저면 위에 있기 때문에 수직과 수평 지면반발력 생성은 동작에서 중요한 역할을 하는 것으로 연구되어져 왔다(Fleming 등, 1991; Lindemann 등, 2003). 대퇴가 바닥에서 떨어지는 시기 이전에 수평 지면반발력은 신체를 앞으로 밀기 위해 후방에서 작용한다. 대퇴가 바닥에서 떨어질 때 속력과 같은 요소에 의존하고 대략 체중의 150% 피크의 수직 지면반발력으로 빨리 일어선다. 이 힘은 이후 감소하고 선 자세에 도달했을 때 체중을 안정화 시킨다. 이러한 패턴은 신체를 수직으로 가속화하기 위해 체중보다 더 큰 힘을 필요로 한다(Shepherd, & Gentile, 1994; Yamada 등, 2009).

근육의 약화가 나타나는 운동계의 손상 환자에게는 임상적 수행과 관련하여 발의 위치, 초기 체간의 위치, 운동속도 및 의자높이와 같은 외적인 요소들은 부정적 요인으로 작용하며 동적인 활동에 영향을 주는 것으로 보고되어져 왔다(Carr & Shepherd, 2010).

본 연구는 정상인들의 STS 동작을 수행할 때 하지의 길이에 관련한 다른 의자의 높이를 적용하여 선호하는 보통 속력과 빠른 속력으로 수행하여 일어나는 시간과 지면반발력을 분석하여 신경계 손상환자들의 STS 훈련 전략에서 효율적인 동작을 수행할 수 있도록 최적의 수행조건을 계획하는데 생역학적 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

실험에 참여한 대상자는 근육 뼈대계의 통증이나 질환이 없으며, 기능적 활동에 장애가 없는 남자 대학생 15명을 대상으로 5명씩 무작위로 배치하여 의자 높이를 하지 높이에 따라 세 군으로 나누어 선정하였다(Fig. 1).

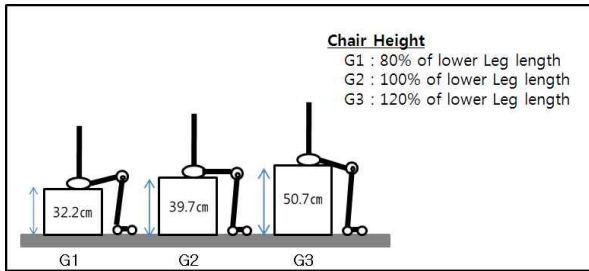


Fig. 1. An Illustration of chair height

2. 실험 절차

1) 하지 다리 길이 측정 및 위치

각 대상자의 하지길이 측정은 무릎에서 정강이뼈의 외측 과까지 길이를 줄자로 측정하였고, 앉은자세 기저면은 넓다리 길이의 절반이 의자바닥에 닿게 하였다. 앉은 자세에서 양쪽 팔은 교차시켜 가슴 앞쪽에 위치하게 하였고, 일어서기 동작은 선호하는 보통속도와 빠른 속도로 반복하여 일어서게 하였다.

2) 지면반발력 측정도구

일어서기 동작의 수직 지면반발력을 측정하기 위해 Emed/AT system(Novelgmbh, Germany)를 사용하였다. Emed/AT의 압력 감지기는 2개/cm²로 전체 1,377개로 구성되어 있으며, 압력 역치는 10kPa이다 자료 수집율은 400Hz이며, 최대압력, 최대힘, 발의 면적 그리고 압력중심의 이동고정을 시간대별로 제공한다. 일어서기를 수행한 전체시간과 최대 지면반발력을 측정하였다.

3. 자료 분석

수집된 자료의 결과는 Windows SPSS 12.0 version을 사용하여 분석하였고, 대상자의 일반적 특성은 기술통계로 하였고, 의자높이에 따른 소요시간, 지면반발력 검정은 이원 분산분석(two-way ANOVA)하여 Bonferroni 사후검정을 하였으며 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

III. 결 과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

본 연구의 대상자들은 15명으로 각 5명씩 배치하여 하지길이에 따른 의자높이를 다르게 설정하여 군 배치를 하였고, 각 군의 나이, 키, 몸무게, 하지 길이에 대한 분산의 동질성 검정하였다. 각 군의 대상자들의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1, Fig 1).

Table 1. General characteristics of subjects

Variable	G1(N=5) Mean±SD	G2(N=5) Mean±SD	G3(N=5) Mean±SD	p-value
Age(yrs)	26.80±2.05	25.80±1.30	26.80±6.38	0.90
Height(cm)	175.40±3.51	172.20±6.30	176.20±6.14	0.49
Weight(kg)	71.10±12.06	64.40±16.20	76.20±15.47	0.47
Femur length(cm)	45.80±3.11	44.60±3.23	46.70±3.72	0.39
Lower leg length(cm)	40.25±2.25	39.70±3.27	42.30±3.46	0.62

G1: 80% of Lower leg length
G2: 100% of Lower leg length
G3: 120% of Lower leg length

Table 2. Parameters of sit to stand of subject groups

Variables		Group1(N=5) Mean±SD	Group2(N=5) Mean±SD	Group3(N=5) Mean±SD	F	p-value
Time/sec	Seat height	a	a	b	6.23	0.01*
	Regular speed	2.34±0.34	1.88±0.35	2.10±0.31	39.41	0.00*
	Fast speed	1.25±0.16	1.17±0.19	1.13±0.40		
	Seat height*speed				5.66	0.01*
VGRF/ % body weight	Seat height	a	b	b	12.29	0.00*
	Regular speed	60.80±6.01	49.40±3.84	55.00±2.24	12.29	0.09*
	Fast speed	70.60±10.60	58.20±4.15	54.80±5.07		
	Seat height*speed				8.02	0.14

ab: 서로 다른 문자는 유의한 차이가 있음($p < 0.05$).
VGRF: Vertical Ground Reaction Force

2. 소요시간

일어서기 동작에 소요되는 시간은 대상자가 선호하는 보통속력에서는 $G2 > G3 > G1$ 순으로, 의자높이를 하지길이와 동일하게 적용한 그룹에서 가장 짧게 나타났고, 최대한 빠르게 일어서기 동작을 적용하였을 때는 선호 속력보다 세 그룹 모두 소요시간이 감소하였고, $G3 > G2 > G1$ 순으로 나타났다(Table 2).

의자 높이에 따른 일어서기 소요시간에는 유의한 차이가 있으며($p < 0.01$), 의자 높이와 운동속도와의 상호작용은 일어서기 동작에 소요되는 시간에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 사후검정에서 G1과 G3에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$) (Table 2).

3. 수직 지면반발력

대상자가 선호하는 보통속력으로 일어서기를 수행하는 동안 최대 수직 지면반발력 결과는 $G1 > G3 > G2$ 순으로 나타났으며, 빠른속력에서는 $G1 > G2 > G3$ 순으로 높이가 낮은 그룹에서 가장 지면 반발력이 크게 나타났고, 운동속력이 증가할수록 수직 지면반발력이 크게 증가하였다. 일어서는 속력과 의자 높이에 따른 수직 지면반발력은 유의한 차이가 있으며($p < 0.09$, $p < 0.00$),

의자 높이와 운동속력과의 상호작용은 수직 지면반발력에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다($p > 0.14$). 사후검정에서 G1과 G2, G1과 G3 사이에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.00$, $p < 0.01$) (Table 2).

IV. 고 찰

일어서고 앉는 능력은 선 자세 유지 능력이 필요한 지면 보행이나 계단보행과 같은 이동 동작 전에 전제되어야 하는 독립적인 ADL을 위해 필수적이므로 일상생활에서는 수행 횟수가 많이 요구되어 진다. 뿐만 아니라 일어서기 동작은 개인의 기능적 수준을 결정짓는데 도움을 주는 기술(skill)이다(Janssen 등, 2003).

노인의 경우, 일상생활동작에서 운동성과 기능이 결여되면 이러한 기초적인 동작 수행이 불가능해진다(Guralnik 등, 1995). 일어서기 능력의 부재는 일상생활과 독립적인 생활의 제한과 신체 활동 능력의 감소나 미사용과 관련하여 신체의 건강과 근력의 감소를 가속화 시킨다. STS의 어려움은 넘어지는 주요 원인이 되며 노인이나 환자의 경우 이동 동작을 할 때 가장 많이 넘어지는 것으로 보고되고 있다(Carr & shepherd, 2010). 또한 다리 근육 기능이 현저하게 감소되는 경우에는 STS를 수행하는 것이 어렵다(Alexander 등, 1991; Gross 등, 1998). 하지 근육의 약화는 일어서기

과정에서 엉덩이를 드는 동작의 시작이 느려져 체간의 굽힘이 깊어지면서 위쪽으로 빠르게 하지와 체간을 곧게 세우는 것이 어려워진다(Yamada, 2007).

STS는 기본적인 ADL 동작 중 하나이기 때문에 실제적이고 유용한 측정 도구로 사용되어져 왔다. 노인의 신체기능과 활동이 독립적인 삶과 낙상 예방에 요구되어지는 요소들이지만 그들의 낙상을 정확하게 예견할 수 있고 정확하게 신체 활동을 평가하는 기능 수준을 반영하는 것으로 유용하고 실제적인 검사이다(American College of Sports Medicine, 2000; Yamada 등, 2009).

노인에게서는 다리근육 기능은 그들의 독립적인 삶에 요구되어지는 신체활동과 기능적 수준을 유지 또는 향상시키기 위한 평가 수단으로 중요할 것이다(Yamada 등, 2009). 지금까지 노인의 다리근력과 파워를 검사하기 위해 STS 동작 시에 지면반발력을 사용해 왔다(Fleming 등, 1991; Lindemann 등, 2003).

발의 위치는 일어서기 전에 무릎보다 뒤에 놓이기 때문에 뒤로 끌려간다. 발의 위치가 앞으로 이동하는 거리에 영향을 준다. 발이 앞으로 갈수록 전방에 위치한 발에서 생성되는 잠재적인 힘을 극복하기 위해 보다 큰 엉덩관절 굽힘과 속도가 필요함을 보여주며 신체가 앞으로 이동해야 하는 거리가 커진다(Shepherd & Koh, 1996). 전방 발 위치는 발이 뒤에 있을 때 보다 오랜 시간 근력을 유지해야 하므로 엉덩관절 피크 모멘트의 증가와 연관되어 있다. STS를 쉽게 하기위해서 발이 등쪽 굽힘이 되도록 무릎관절 중심의 수직선으로부터 평균 10cm 정도 뒤로 위치하는 것이 생역학적으로 가장 효율적인 위치라고 하였다(Steven 등, 1989). 본 연구에서도 효율적 STS 동작을 위해 선행 연구와 동일한 방법으로 실시하였다.

의자의 높이는 STS 동작의 수행에 영향을 준다. 높이에 따라 STS 동작이 불가능할 수도 있기 때문이다(Hughes 등, 1994). 의자높이에 대한 연구에서 의자의 높이가 낮을수록 일어서기 동작이 어렵거나 수행이 불가능 할 수도 있다고 하였고(Schenkman 등, 1996). 고령 노인의 경우 성공적인 일어서기 동작 수행이 가능한 최소높이를 연구하였는데 하지길이의 120% 미만의 정도의 의자에서는 일어서기가 어렵다고 보고하였다(Weiner,

1993). 낮은 의자에서는 일어서기 위해서는 엉덩관절의 각속도가 증가하고 발의 재위치가 더욱 요구되는 안정화 전략이필요하다(Schenkman, 1996).

손상이 없는 20~30대 젊은 사람의 경우는 무릎높이의 115% 에서 65% 정도의 낮은 높이의 의자에서 일어설 때 체간의 굽힘 각속도가 100% 증가한다고 보고 하였다(Schenkman, 1996). 의자의 높이는 하지 관절에서 힘의 모멘트에 영향을 미치고 낮은 높이의 의자에서 일어서기 위해서는 체간, 무릎, 발목 각도의 전위가 증가하므로 의자의 높이가 일어서기 수행에 있어서 중대한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Yamada & Demura, 2004).

Rodosky(1989)는 의자 높이를 하지길이의 65%, 80%, 100%와 115% 로 설정하여 연구하였고, 본 연구에서도 이와 유사하게 하지길이의 80%, 100%와 120% 로 의자 높이를 각각 설정하였다.

STS 동작을 하는 동안 팔의 자세는 무릎위에 올려 두기, 팔짱 끼기, 체간 옆에 두기 또는 물체 잡기 등 다양하게 연구 되어져 왔지만(Janssen 등, 2002; Carr, 1992). 젊은 연령층과 노인에 이르기 까지 STS 동작에 팔을 사용하는 것이 일반적이기 때문에 전방으로 체중 이동하는 것에 방해를 주지 않으면서 일어서기에 팔을 이용하지 않도록 본 연구에서도 팔을 앞으로 교차시킨 자세로 제한하였다.

일어서는 속력의 세 가지 유형(느린, 선호하는, 빠른)으로 한 연구에서 대상자가 빨리 움직일 때 증가된 엉덩관절 굽힘 속도는 하지의 펌 근력에 잠재적인 영향을 준다. 느린 속력으로 일어서기에서 더 많은 지지력을 생산하기 위해 긴 시간이 소요된다(Carr & shepherd, 2010). 일어서기 동안 체간의 전/상방의 움직임을 동반하지 않을 때 일어서기가 힘들어진다. 빠른 속력의 STS는 중력중심의 최대 수직 모멘트에 영향을 주고 반면에 최대 수평모멘트는 상대적으로 변화가 없다(Pai 등, 1994). 본 연구에서도 속력(보통, 빠른 속력)에 따라 소요 시간이나 수직 지면반발력에 차이를 보여 선행 연구의 결과와 유사하였다.

STS를 수행할 때 걸리는 시간이 하지길이가 짧은 군보다 하지길이가 긴 군에서 중력중심이 낮아져 하지에

부하가 커져 소요시간이 길다 즉, 낮은 높이에서 일어설 때 STS 동작 시간이 더 소요된다(Yamada & Demura, 2004). 전중선 등(2000)의 연구에서 뇌졸중 환자의 소요시간은 3.31 ± 1.16 초로 정상인 2.07 ± 1.98 초에 비해 유의한 증가를 보였고, 본 연구에서도 빠른 속력의 동작이 보통 속력보다 소요시간이 모든 그룹에서 감소하였고, 보통 속력에서는 의자 높이가 낮은 그룹(G1)에서 소요 시간이 가장 길게 나타났고, 빠른 속력에서는 의자의 높이에 따른 차이가 감소하였는데, 의자 높이가 높은 그룹(G3)에서 소요시간이 가장 짧게 나타났다.

STS 동작에서 지면반발력 변화는 앉은 자세에서 일어서는 동작과정의 최대 힘을 나타내는 것으로 하지의 근력과 보행능력과 연관이 있는 것으로 나타났다(Gehlsen & Whaley, 1990). 높은 의자보다 낮은 의자에서 일어설 때 수직 지면반발력과 수직 지면반발력 피크 값도 높은 의자에서 설 때 보다 더 크게 나타났다.

Yamada & Demura(2004)는 의자의 높이를 하지 길이보다 동일(G2)하거나 높았을 경우(G3) 수직 지면반발력에서 유의한 차이가 없었다고 보고하였는데 이는 본 연구의 결과와 일치하였다. 또, 빠른 속력으로 STS 수행결과 지면반발력 피크값과 소요시간에는 유의한 차이가 나타나지 않았고(Yamada & Demura, 2004; Yamada, 2007), 본 연구에서는 빠른 속력에서 소요시간과 수직 지면반발력에서 유의한 차이를 보였지만 의자 높이가 높은 그룹(G3)에서는 빠른 속력에서 수직 지면 반발력이 감소하였다.

V. 결 론

15명 성인을 대상으로 앉은자세 일어서는 동작(STS)에 영향을 줄 수 있는 의자의 높이를 하지의 길이에 따라 각각 세 그룹으로 분류하였고, 일어서는 속력은 선호하는 보통속력과 빠른 속력으로 수행하게 하여 소요되는 시간과 수직지면반발력을 측정하여 분석하였다.

의자 높이에 따른 일어서기 소요시간에는 유의한 차이가 있었고, 의자 높이와 운동속도와 상호작용은 일어서기 동작에 소요되는 시간에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

일어서기를 수행하는 동안 최대 수직 지면반발력은 낮은 높이의 의자에서 일어설 때 가장 큰 값을 나타내었고, 운동속력이 증가할수록 수직 지면반발력이 크게 증가하였다. 일어서는 속력과 의자 높이에 따른 수직 지면반발력은 유의한 차이가 있었다.

본 연구의 결과에서는 정상인들의 STS 동작을 수행할 보통속력에서는 의자의 높이가 일어서는데 소요시간의 차이를 보였지만 빠른 속도에서는 의자높이에 따른 차이는 크지 않았다.

움직임 손상이 나타나는 환자의 물리치료 초기단계에서 STS 훈련 전략을 효율적으로 계획할 수 있도록 본 연구의 결과들이 임상적 고려사항으로 적용되었으면 한다.

참 고 문 헌

- 전중선, 전세일, 김동아, 뇌졸중 환자의 앉은자세에서 일어서는 동작(Sit to Stand)의 분석, 재활의학회지, 제 24권 제 5호 Vol. 24, No 5, October, 2000.
- Alexander NB, Schultz AB, Warwick DN. Rising from a chair: effects of age and functional ability on performance biomechanics. *J Gerontol*; 46:91-98, 1991.
- American College of Sports Medicine, Medicine's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, Sixth ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia. 2000.
- Carr JH. Balancing the centre of body mass during standing up. *Physiotherapy Theory and Practice*. 8:159-164, 1992.
- Carr JH. Gentile AM, The effect of arm movement on the biomechanics of standing up. *Human Mov Sci*, 13,175-193, 1994.
- Carr JH. Shepherd R. *Neurological Rehabilitation Optimizing Motor Performance*, 2nd edition. Churchill Livingstone Elsevier, 2010.
- Demura S, Sato S, Minami M, Kasuga K, Gender and age differences in basic ADL ability on the

- elderly: comparison between the independent and the dependent elderly. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 22: 19-27, 200)
- Fleming, B.E., Wilson, D.R., Pendergast, D.R., A portable, easily performed muscle power test and its association with falls by elderly persons. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 72, 886-889. 1991.
- Gehlsen GA, Whaley MH, Fall in the elderly: part II, balance, strength and flexibility. *Arch Phys Med Rehabil*, 71, 739-741, 1990.
- Gross MM, Stevenson PJ, Charette SL, et al. Effect of muscle strength and movement speed on the biomechanics of rising from a chair in healthy elderly and young women. *Gait posture*.; 8: 175-185, 1998
- Hodge, W.A., Carlson, K.L., Fijan, R.S., 1989. Contact pressures from an instrumented hip endoprosthesis. *J. Bone. Joint. Surg. Am.* 71, 1378-1386.
- Guralnik JM, Ferrucci L, Simonsick EM, et al. Lower-extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability. *N Engl J Med.* 332:556-561. 1995.
- Hughes MA, Weiner DK, Schenkman ML, et al. Chair rise strategies in the elderly. *Clin Biomech.*;9:187-192. 1994
- Janssen GM, Bussmann BJ, Stam J. Determinants of the Sit-to-Stand Movement: A Review. *Physical Therapy*. Volume 82. Number 9. September, 2002
- Lindemann, U., Claus, H., Stuber, M., Measuring power during the sit-to-stand transfer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89, 466-70, 2003.
- Pai YC, Naughton BJ, Chang RW, Rogers MW. Control of body centre of mass momentum during sit-to-stand among young and elderly adults. *Gait Posture*.;2:109-116. 1994.
- Riley PO, Schenkman ML, Mann RW., Mechanics of a constrained chair-rise. *J Biomech* 24: 77-85, 1991.
- Rodosky MW, Andriacchi TP, Andersson GB. The influence of chair height on lower limb mechanics during rising. *J Orthop Res.*;7:266-271, 1989.
- Schenkman ML, Riley PO, Pieper C. Sit to stand from progressively lower seat heights: alterations in angular velocity. *Clin Biomech.*;11:153-158. 1996.
- Shepherd RB, Koh HP. Some biomechanical consequences of varying foot placement in sit-to-stand in young women. *Scand J Rehabil Med.* ;28:79-88. 1996.
- Stevens C, Bojsen-Moller F, Soames RW. The influence of initial posture on the sit-to-stand movement. *Eur J Appl Physiol.* ;58:687-692. 1989.
- Ryerson S. Levit K, Functional Movement Reeducation, Churchill Livingstone Elsevier, 1997.
- Weiner DK, Long R, Hughes MA, et al. When older adults face the chair-rise challenge: a study of chair height availability and height modified chair-rise performance in the elderly. *J Am Geriatr Soc.*;41:6-10, 1993.
- Yamada T, Demura S. Influence of the Relative Difference in Chair Seat Height according to Different Lower Thigh Length on Floor Reaction Force and Lower-limb Strength during Sit-to-Stand Movement. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* ;23:197-203, 2004.
- Yamada T, Demura S. Influence of load burdens on lower limbs in each movement phase and the characteristics of sit-to-stand movement. *Sport Sci Health.* ;2:8-15, 2007.
- Yamada T, Demura S. Relationships between

ground reaction force parameters during a sit-to-stand movement and physical activity and falling risk of the elderly and a

comparison of the movement characteristics between the young and the elderly. *Archives of Gerontology and Geriatric* 48:73-77, 2009.