

젊은 성인과 노인의 앉아서 일어서기 움직임과 정적 서기 균형 차이

신재욱¹ · 배원식^{2‡} · 이현옥³

¹부산의료원 재활센터, ^{2‡}경남정보대학교 물리치료과, ³부산가톨릭대학교 물리치료학과

Sit-to-Stand Movement and Static Standing Balance Differences between Young and Older Adults

Shin Jaewook, PT, MSc¹ · Bae Wonsik, PT, MSc^{2‡} · Lee Hyunok, PT, Ph.D³

¹Rehabilitation Center, Busan Medical Center

^{2‡}Dept. of Physical Therapy, Kyungnam College of Information & Technology

³Dept. of Physical Therapy, Catholic University of Pusan

Abstract

Purpose : The purpose of this study was to examine the differences in sit-to-stand movement and static standing balance between young adults and older adults

Methods : Thirty young adults and thirty older adults participated in this study. The Good Balance System was used to assess participants' sit-to-stand movement and static standing balance. The sit-to-stand movement was measured as mediolateral and anteroposterior displacement of the centre of pressure (mm/s) while sit-to-stand on a force platform, and time required to complete a sit-to-stand movement on a force platform. The static standing balance was measured as mediolateral and anteroposterior displacement of the center of pressure (mm/s) and velocity moment (mm²/s) while standing on a force platform with opened eyes and with closed eyes.

Result : A significant difference was found in the mediolateral and anteroposterior center of pressure displacement and the time required to complete a sit-to-stand movement of the two groups ($p < .05$). A significant difference between the groups was found as to mediolateral centre of pressure displacement and the velocity moment when standing with opened eyes and with closed eyes ($p < .05$).

Conclusion : In conclusion, older adults showed decreased sit-to-stand movement and static standing balance ability compared to the young adult. Clinicians should consider sit-to-stand and balance training for older adult.

Key Words : sit-to-stand movement, static standing balance, older adult, center of pressure

‡교신저자 :

배원식 f452000@naver.com

논문접수일 : 2016년 8월 31일 | 수정일 : 2016년 9월 26일 | 게재승인일 : 2016년 9월 27일

I. 서론

균형은 기저면 내에서 신체의 무게 중심을 유지할 수 있는 능력으로, 신체가 이동할 때 주변 환경과 상호작용을 통해 지속적으로 자세를 유지하는 능력을 말한다(Shumway-Cook & Woollacott, 2007). 균형 능력은 앉기, 앉아서 일어서기, 서기와 같은 일상생활 활동을 수행하는데 필수적인 요소이다(Yavuzer 등, 2006). 균형능력이 저하되면 독립적인 일상생활을 어렵게 만들고 낙상의 위험을 증가시킨다(Province 등, 1995).

균형은 정적균형과 동적균형으로 분류할 수 있으며 정적균형은 고정된 지지면에서 흔들림 없이 서 있을 수 있는 것이며 동적균형은 움직이는 지지면, 외부 자극이 있을 때 그리고 스스로 움직일 때 균형을 유지하는 것을 말한다(Ragnarsdóttir, 1996). 이러한 균형을 유지하기 위해 필요한 감각계에는 시각, 전정, 고유수용성감각 등이 있으며, 이런 감각기관들과 운동계, 인지계 사이의 상호작용을 통해 균형을 효율적으로 유지할 수 있다(Cheng 등, 2001).

균형과 관련된 많은 연구들이 감각계의 변화, 중추신경계의 기능 둔화, 근육 약화를 포함한 생체역학적 결함과 같은 중요한 시스템들의 손상으로 균형 능력이 감소된다고 보고하였다(Horak 등, 1989). 이러한 균형 능력 감소로 노인 인구의 약 30%는 매년 낙상을 경험하게 되고 중요한 건강문제를 초래한다(O'Loughlin 등, 1993).

의자에 앉은 자세에서 일어서는 능력은 보행과 독립적인 일상생활을 수행하기 위해 필요한 동작이며 걷기, 계단 오르기과 같은 이동을 위해 필수적인 전제조건이다(Cahill 등, 1999). 일상생활에서 앉아서 일어서기의 수행 횟수는 많으며 건강한 사람들은 하루 평균 60회 일어선다고 보고하였다(Dall & Kerr, 2010). 앉아서 일어서기를 수행하기 위해서는 몸통과 고유수용성 감각, 다리의 근력, 관절가동범위, 분절간 조절 등 다양한 요소들이 필요하다(Millington 등, 1992). 연령이 증가함에 따라 하지근력 및 평형기능의 저하로 앉아서 일어서기를 수행하는데 어려움이 있다(Alexander 등, 1991). 또한 앉아서 일어서는 동안 신체 움직임은 근육의 힘으로부터 발생하는 가속에 의해 조절되므로 노인의 움직임 조절은 더욱 어렵

게 된다(Fujimoto & Chou, 2012).

균형능력을 평가하는 방법으로는 불안정한 지지 기저면에서 자세조절계의 운동 반응을 근전도를 이용해 분석하는 방법, 힘판(force platform) 등의 장비를 이용한 방법, 질적인 평가와 시간으로 측정하는 롬버거 검사, 버그 균형 검사, 일어나 걸어가기 검사, 기능적 전방 팔 뻗기 검사, 그리고 외다리 기립 검사 등의 평가가 있다. 또한 앉아서 일어서기에 대한 임상적 평가 방법은 협응과 움직임 패턴의 변화를 설명하기 위해 관절의 각 움직임에 대한 시각적 관찰을 이용하였으며, 이러한 평가 방법은 임상가의 경험과 훈련에 의존하므로 객관적으로 접근하기에는 타당성과 정확성이 부족하다(Jeng 등, 1990). 임상적인 균형 평가 방법은 객관적이고 정량적인 평가가 가능해야 하며, 운동계와 감각계의 포괄적인 평가가 가능해야 하고, 임상에서 적용 가능한 방법이어야 한다(장기연 등, 1994).

압력 중심(center of pressure, COP)은 균형 장애에 대한 진단과 치료에 대한 평가도구와 신체 중심의 이동경로를 반영하는 척도로 적용되고 있다(Michaelson 등, 2003). 힘판 위에 신체가 위치하고 있을 때 지지표면에서 만들어지는 압력 중심의 이동거리를 측정하여 신체의 흔들림 정도를 알 수 있으며 균형에 대한 객관적인 평가를 할 수 있다(Ruhe 등, 2011).

균형에 대한 객관적이고 정량적인 평가 도구인 힘판을 이용하여 뇌졸중, 파킨슨, 골관절염 등 환자군과 정상인을 차이에 대해 여러 연구들이 비교하였으나 노인과 정상인의 차이에 대한 연구는 부족하다(Bouchouras 등, 2015; Chou 등, 2003; Inkster & Eng, 2004). 또한 여러 연구들이 연령 증가에 따른 근력, 관절가동범위, 유연성을 포함한 신체 기능을 비교하였으나(Metter 등, 1997; Vandervoort 등, 1992) 이러한 기능들이 통합된 균형 능력이 정상 성인과 노인 사이에 어떤 차이가 있는지에 대한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 젊은 성인과 노인을 대상으로 앉아서 일어서기 움직임과 정적으로 선 자세에서의 균형 차이에 대해 알아보려고 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 기간

본 연구는 2016년 2월 15일부터 3월 31일까지 연구를 실시하였고, B시에 거주하는 대학생 30명과 B시에 거주하는 65세 이상 노인 30명을 대상으로 연구를 진행하였다. 연구 대상자들에게 연구의 목적과 방법에 대해 충분한 설명을 하였고, 연구 참여에 자발적으로 동의한 사람들을 대상으로 하였다. 연구 결과에 영향을 미칠 수 있는 신경계 및 근골격계 질환이 없는 자, 한글판 약식 정신상태검사(MMSE-K)에서 24점 이상으로 의사소통과 이해가 가능한 자, 전정계 질환이나 시각적 장애가 없는 자, 지지 없이 30초간 선 자세를 유지할 수 있으며 독립적으로 의자에서 일어서기가 가능한 자를 대상으로 하였다.

2. 측정도구

앉아서 일어서기 움직임과 선 자세에서의 정적 균형을 측정하기 위해 Good balance system(Metitur Ltd, Finland)을 사용하였다(그림 1). 앉아서 일어서기와 균형의 평가가 가능하고 노인과 뇌졸중 환자 등에게 균형을 측정하는 장비로 상용화되어 널리 사용되고 있다(Era 등, 1996). 이 장비는 측정 대상자의 질량 중심부에서 중력의 방향으로 힘판에 형성되는 압력의 중심부가 그려지는 동선으로 내외측의 이동거리(COP displacement in mediolateral)와 전후 이동거리(COP displacement in anteroposterior)를 측정할 수 있고 내외측과 전후 방향으로 움직인 동선 거리(mm)의 총면적에 평균속도를 측정하여 mm/s단위로 환산한 결과값인 속도 모멘트(velocity moment)를 구할 수 있다.

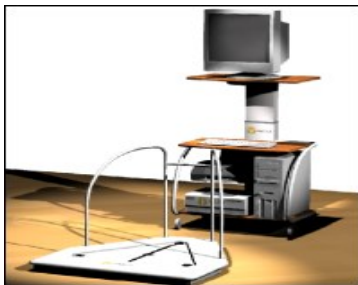


그림 1. Good balance system

3. 측정방법

앉아서 일어서기 움직임을 측정하기 위해 대상자의 시작 자세는 표준화하였다. 앉아서 일어서기에 대한 실험 방법은 이전 연구들의 방법을 참조하였다(Cheng 등, 1998; Chou 등, 2003). 팔걸이와 등받이가 없고 높이가 조절이 가능한 의자를 이용하였으며 대상자는 맨발로 앉은 상태에서 실험을 진행하였다. 실험에서 의자의 높이는 무릎관절 바깥쪽에서 바닥까지 거리로 측정된 값인 대상자의 무릎 높이로 조절하였다. 양 발을 힘판에 두고 발의 내측 부분이 10-15 cm 거리가 되게 하였다. 대상자의 발목은 10도 발등쪽 굽힘을 하고, 무릎관절 각도는 100-105도 굽힘을 하였다. 이후 대상자에게 스스로 선택한 편안한 속도로 일어서라고 하였다. “준비, 시-작”이라는 지시 후에 앉아서 일어서기는 “시작”이라는 지시와 함께 시작되었다. 3초 동안 선 자세를 유지한 이후 대상자는 다시 앉은 자세로 되돌아왔다. 대상자는 손은 허리 옆으로 편하게 내리게 하고 일어서는 동안 손을 사용하지 못하게 하였다.

정적 균형을 측정하기 위해 선 자세에서 양쪽 손은 허리 옆으로 편안히 내리고 양 발을 힘판의 발 위치에 둔다. 눈을 뜨고 선 자세 그리고 눈을 감고 선 자세로 각각 30초 동안 측정하였다.

4. 자료분석

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS 22.0 for window 프로그램을 이용하였다. 대상자의 일반적인 특징은 기술통계를 사용하였다. 젊은 성인군과 노인군의 앉아서 일어서기 움직임과 정적 균형 차이를 비교하기 위해 독립표본 t-검정을 실시하였다. 통계학적 유의수준 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

III. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

젊은 성인군의 평균 나이는 23.23 ± 1.17 세였고, 신장은

165.20±8.89 cm, 몸무게는 62.70±12.87 kg이었다. 노인군의 평균 나이는 68.63±3.57세 였고, 신장은 159.93±9.32 cm, 몸무게는 59.27±8.58 kg이었다(표 1).

2. 젊은 성인군과 노인군의 앉아서 일어서기 비교

앉아서 일어서는 동안 내외측에서의 COP 이동거리, 전후에서의 COP 이동거리, 속도 모멘트에서 두 그룹 사이에 유의한 차이가 있었다(표 2).

표 1. 연구대상자의 일반적 특성

	젊은 성인군(n=30)	노인군(n=30)
나이 (세)	23.23±1.17	68.63±3.57
성별 (남/여)	13/17	12/18
신장 (cm)	165.20±8.89	159.93±9.32
체중 (kg)	62.70±12.87	59.27±8.58

표 2. 젊은 성인군과 노인군의 앉아서 일어서기 비교

	젊은 성인군(n=30)	노인군(n=30)	t	p
내외측에서 압력의 중심부 이동거리(mm)	82.68±11.38	94.63±21.42	-2.318	0.024*
전후에서 압력의 중심부 이동거리(mm)	133.48±32.12	156.12±33.88	-2.656	0.010*
앉아서 일어서는 동안 소요시간(초)	1.68±0.35	1.90±0.44	-2.149	0.036*

*p<0.05

3. 젊은 성인군과 노인군의 정적 선 자세 비교

눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 내외측에서의 COP 이동거리, 속도 모멘트에서 두 그룹 사이에 유의한

차이가 있었다. 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 전후에서의 COP 이동거리는 두 그룹 사이에 유의한 차이가 없었다(표 3).

표 3. 젊은 성인군과 노인군의 정적 선 자세 비교

	젊은 성인군(n=30)	노인군(n=30)	t	p
내외측에서 압력의 중심부 이동거리(mm)	92.45±28.54	107.01±21.55	-2.184	0.033*
눈은 뜬 상태 전후에서 압력의 중심부 이동거리(mm)	158.76±39.03	171.03±38.05	-1.233	0.223
속도 모멘트(mm/s)	9.17±3.06	11.15±3.03	-2.530	0.014*
내외측에서 압력의 중심부 이동거리(mm)	126.63±39.31	158.49±46.62	-2.862	0.006*
눈은 감은 상태 전후에서 압력의 중심부 이동거리(mm)	254.64±77.70	287.76±62.66	-1.818	0.075
속도 모멘트(mm/s)	12.52±4.98	19.41±9.17	-3.615	0.001*

*p<0.05

IV. 고 찰

본 연구는 젊은 성인군과 노인군을 대상으로 앉아서 일어서기 움직임과 선 자세에서의 정적 균형을 측정하였으며

노인은 젊은 성인군과 비교하여 앉아서 일어서는 동안 내외측에서의 COP 이동거리와 전후에서의 COP 이동거리가 길게 나타났고 소요되는 시간도 길게 나타났다. 또한 노인은 젊은 성인군보다 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태로 정적 선 자세에서 내외측에서의 COP 이동거리가 길게 나타났고 속도 모멘트가 높게 나타났다.

앉아서 일어서기는 단순한 과제로 보이지만 지지면의 작은 기저면인 발에서 균형을 유지하는 동안 신체의 중심을 수평에서 수직 방향으로 효율적으로 이동하기 위하여 연결된 신체분절의 협응적인 상호작용을 요구한다(Tully 등, 2005). 앉아서 일어서기를 수행하기 위해서는 몸통과 엉덩관절의 굽힘으로 신체를 앞으로 이동시키는 동작과 발 위에서 신체를 수직 방향으로 올리기 위해 다리와 몸통을 펴는 동작이 필요하다(Roebroeck 등, 1994). 이러한 동작 수행을 위해 목과 몸통 앞뒤의 근육, 엉덩허리근, 큰볼기근, 넓다리내갈래근, 넓다리뒤근육, 앞정강근, 가자미근과 같은 근육들의 작용이 필요하다(Goulart & Valls-Solé, 1999; Roebroeck 등, 1994). 건강한 노인들은 앉아서 일어서기 위해 몸통 굽힘 모멘트, 신체를 들어올리기 전 중력 중심의 위치, 다리 펴근의 근력이 요구된다(Bernardi 등, 2004).

앉아서 일어서기를 효율적으로 수행하기 위해서는 수평적인 모멘트를 수직으로 부드럽게 연결하여야 한다(Carr & Shepherd, 2003). 그리고 앉아서 일어서기를 빠르게 수행하기 위해서는 근력이 중요한 역할을 하지만 노인은 젊은 성인과 비교하여 근력이 약하고 협응력도 떨어진다(Bernardi 등, 2004; Dietzel 등, 2015; Pendergast 등, 1993). 따라서 나이가 증가함에 따라 근력이 약해지고 협응력이 떨어지므로 앉아서 일어서는 동안 소요되는 시간은 노인이 젊은 성인보다 더욱 길게 나타났다.

앉아서 일어서는 동안 내외측 이동거리를 측정할 결과 노인이 젊은 성인보다 더욱 증가된 것으로 나타났다. 좌우 다리 근력은 연령이 증가함에 따라 차이가 발생할 수 있으며 연령이 증가할수록 비대칭성이 커진다고 보고하였다(Perry 등, 2007; Skelton 등, 2002). 이러한 비대칭성으로 인하여 앉아서 일어서는 동안 내외측으로 COP 이동을 증가시킨 것으로 보인다.

노인의 경우 앉아서 일어서는 동작의 초기에 젊은 성인에 비해 엉덩관절 굽힘이 증가하게 되고 몸통의 굽힘이 더 많이 나타나게 된다(Hughes 등, 1996; Papa & Cappozzo, 2000). 이러한 굽힘의 증가는 분절간 부드러운 움직임을 방해하게 되며 앉아서 일어서는 동안 더욱 긴 시간이 필요하게 된다. 본 연구에서도 젊은 성인과 비교하여 노인은 앉아서 일어서는 동안 소요되는 시간이 길게 나타났을 뿐만 아니라 전후 방향에서의 이동거리도

길게 나타났다.

젊은 성인과 노인을 대상으로 눈을 뜨고 힘판 위에 선 자세에서 흔들림의 차이를 비교한 연구에서 노인의 경우 내외측에서 흔들림이 증가되었음을 보고하였다(Lin 등, 2002). 본 연구에서는 30초 동안 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태로 선 자세에서 측정을 진행하였으며 선행 연구와 같이 내외측에서 흔들림이 증가된 것으로 나타났다.

단단한 표면에서 정적으로 서 있을 때 전후 방향에서의 흔들림은 발목전략에 의해 조절되며 앞쪽에서의 흔들림은 장딴지근, 넓다리뒤근, 척추주위근의 순서로 활성화되고 뒤쪽에서의 흔들림은 앞정강근, 넓다리내갈래근, 배근육의 순서로 활성화되어 조절된다(Horak & Nashner, 1986). 노인의 경우 이러한 순서가 달라질 수 있으며 다리 근육의 협력 수축을 통해 자유도가 높은 많은 움직임을 줄이는 전략을 이용할 수도 있다(Donath 등, 2016). 따라서 본 연구에서 눈을 뜨고 그리고 눈을 감고 선 자세에서 전후 방향의 흔들림은 두 군간에 유의한 차이가 없었다. 또한 다양한 연령층을 대상으로 선 자세에서 흔들림을 측정할 결과 눈을 뜬 그리고 눈을 감은 상태에서 노인 대상자가 다른 연령층에 비해 전후 방향에서의 흔들림 차이는 유의하지 않았다고 보고하였다(Peterka & Black, 1990-1991).

균형과 관련된 말초 감각 정보를 중추신경계로 전달하고 다양한 상황에 따라 중추적인 통합 과정은 균형 유지에 필수적인 요소이다(Shumway-Cook & Woollacott, 2007). 균형을 유지하는 것은 체성감각, 시각, 전정감각 그리고 근골격계의 복잡한 상호작용과 관련된다(Long 등, 2013). 밝은 환경에서 단단한 지지면 위에 서 있는 건강한 사람은 체성감각 70%, 시각 10% 그리고 전정감각 20%가 균형을 위해 사용된다(Peterka, 2002). 연령이 증가할수록 균형에 영향을 주는 감각 요소 중 전정계 신경세포의 감소가 나타나고 체성감각 기능이 감소된다(Lord 등, 1991; Woollacott, 1993). 이러한 감각 중 한가지 이상이 제한될 경우 흔들림이 증가하게 되며, 노인의 경우 젊은 성인보다 더욱 흔들림이 증가하게 된다(Woollacott 등, 1986). 따라서 노인은 시각 정보가 차단된 눈을 감은 상태에서 흔들림이 증가하게 되고 본 연구에서도 노인은 정상인보다 눈을 감은 상태로 선 자세에서 내외측 방향의 흔들림이 더욱 증가된 것으로 나타났다.

흔들림 속도와 관련된 연구에서 낙상을 경험한 노인은 낙상을 경험하지 않은 노인보다 흔들림의 속도가 높았으며 균형 문제는 흔들림의 크기뿐만 아니라 흔들림의 속도와도 깊은 연관성이 있다고 보고하였다(Fernie 등, 1982). 속도 모멘트로 측정된 흔들림 속도에서 노인은 젊은 성인보다 흔들림 속도가 증가되었으며 이러한 결과는 노인이 젊은 성인보다 균형 능력이 좋지 않음을 나타낸다.

본 연구의 제한점으로 20대와 65세 이상의 노인을 대상으로 앉아서 일어서는 움직임과 정적 선 자세에서의 균형을 비교하는 연구를 진행하였기 때문에 모든 연령대로 일반화하기에 어려움이 있다. 따라서 다양한 연령대와 65세 이상의 노인을 세분화하여 나이 증가에 따른 균형 변화를 비교하는 연구가 필요하며 지지면 변화, 다양한 균형 동작을 포함한 여러 상황에 대한 균형 능력을 비교한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 젊은 성인과 노인의 앉아서 일어서기 움직임과 선 자세에서 정적 균형의 차이를 알아보고자 연구를 진행하였으며 결론은 다음과 같다.

첫째, 노인은 젊은 성인보다 앉아서 일어서는 동안 내외측 그리고 전후에서 COP 이동거리가 길게 나타났고 소요시간이 높게 나타났으며 유의한 차이가 있었다.

둘째, 노인은 젊은 성인보다 눈을 뜬 상태 그리고 눈을 감은 상태로 정적 서기 자세에서 내외측 COP 이동거리가 길게 나타났고 속도 모멘트가 높게 나타났으며 유의한 차이가 있었다.

본 연구의 결과로 노인은 젊은 성인보다 앉아서 일어서기 움직임과 정적 선 자세 균형이 좋지 않음을 알 수 있었으며 이러한 연구 결과를 바탕으로 노인은 앉아서 일어서기와 균형 훈련 프로그램이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

장기언, 서경배, 이숙자(1994). 균형지수를 이용한 균형반

응의 정량적 평가. 대한재활의학회지, 18(3), 561-569.
Alexander NB, Schultz AB, Warwick DN(1991). Rising from a chair-effects of age and unctinal ability on performance biomechanics. J Gerontol, 46(3), 91-98.
Bernardi M, Rosponi A, Castellano V, et al(2004). Determinants of sit-to-stand capability in the motor impaired elderly. J Electromyogr Kinesiol, 14(3), 401-410.
Bouchouras G, Patsika G, Hatzitaki V, et al(2015). Kinematics and knee muscle activation during sit-to-stand movement in women with knee osteoarthritis. Clin Biomech, 30(6), 599-607.
Cahill BM, Carr JH, Adams R(1999). Inter-segmental co-ordination in sit-to-stand: an age cross-sectional study. Physiother Res Int, 4(1), 12-27.
Carr JH, Shepherd RB(2003). Stroke rehabilitation: guidelines for exercise and training to optimize motor skill. Butterworth-Heinemann Medical.
Cheng PT, Liaw MY, Wong MK, et al(1998). The sit-to-stand movement in stroke patients and its correlation with falling. Arch Phys Med Rehabil, 79(9), 1043-1046.
Cheng PT, Wu SH, Liaw MY, et al(2001). Symmetrical body-weight distribution training in stroke patients and its effect on fall prevention. Arch Phys Med Rehabil, 82(12), 1650-1654.
Chou SW, Wong AM, Leong CP, et al(2003). Postural control during sit-to stand and gait in stroke patients. Am J Phys Med Rehabil, 82(1), 42-47.
Dall PM, Kerr A(2010). Frequency of the sit to stand task: an observational study of free-living adults. Appl Ergon, 41(1), 58-61.
Dietzel R, Felsenberg D, Armbrrecht G(2015). Mechanography performance tests and their association with sarcopenia, falls and impairment in the activities of daily living-a pilot cross-sectional study in 293 older adults. J Musculoskelet Neuronal Interact, 15(3), 249-256.
Donath L, Kurz E, Roth R, et al(2016). Leg and trunk muscle coordination and postural sway during increas-

- ingly difficult standing balance tasks in young adults and older adults. *Maturitas*, 91, 60-68.
- Era P, Schroll M, Ytting H, et al(1996). Postural balance and its sensory-motor correlates in 75-year-old men and women: a cross-national comparative study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 51(2), 53-63.
- Fernie GR, Gryfe CI, Holliday PJ, et al(1982). The relationship of postural sway in standing to the incidence of falls in geriatric subjects. *Age Ageing*, 11(1), 11-16.
- Fujimoto M, Chou LS(2012). Dynamic balance control during sit-to-stand movement: an examination with the center of mass acceleration. *J Biomech*, 45(3), 543-548.
- Goulart FR, Valls-Solé J(1999). Patterned electromyographic activity in the sit-to-stand movement. *Clin Neurophysiol*, 110(9), 1634-1640.
- Horak FB, Nashner LM(1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol*, 55(6), 1369-1381.
- Horak FB, Shupert CL, Mirka A(1989). Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiol Aging*, 10(6), 727-738.
- Hughes MA, Myers BS, Schenkman ML(1996). The role of strength in rising from a chair in the functionally impaired elderly. *J Biomech*, 29(12), 1509-1513.
- Inkster LM, Eng JJ(2004). Postural control during a sit-to-stand task in individuals with mild parkinson's disease. *Exp Brain Res*, 154(1), 33-38.
- Jeng SF, Schenkman M, Riley PO, et al(1990). Reliability of a clinical kinematic assessment of the sit-to-stand movement. *Phys Ther*, 70(8), 511-520.
- Lin SI, Woollacott MH, Jensen J(2002). Differentiating postural responses following dynamically changing balance threats in young adults, healthy older adults and unstable older adults: electromyography. *J Mot Behav*, 34, 37-44.
- Long L, Jackson K, Laubach L(2013). A home-based exercise program for the foot and ankle to improve balance, muscle performance and flexibility in community dwelling older adults: a pilot study. *Int J Phys Med Rehabil*, 1, 120.
- Lord SR, Clark RD, Webster IW(1991). Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. *J Gerontol*, 46(3), 69-76.
- Metter EJ, Conwit R, Tobin J, et al(1997). Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 52(5), 267-276.
- Michaelson P, Michaelson M, Jaric S, et al(2003). Vertical posture and head stability in patient with chronic neck pain. *J Rehabil Med*, 35(5), 229-235.
- Millington PJ, Myklebust BM, Shambes GM(1992). Biomechanical analysis of the sit-to-stand motion in elderly persons. *Arch Phys Med Rehabil*, 73(7), 609-617.
- O'Loughlin JL, Robitaille Y, Boivin JF, et al(1993). Incidence of and risk factors for falls and injurious falls among the community-dwelling elderly. *Am J Epidemiol*, 137(3), 342-354.
- Papa E, Cappozzo A(2000). Sit-to-stand motor strategies investigated in able-bodied young and elderly subjects. *J Biomech*, 33(9), 1113-1122.
- Pendergast DR, Fisher NM, Calkins E(1993). Cardiovascular, neuromuscular, and metabolic alterations with age leading to frailty. *J Gerontol*, 48(Spec), 61-67.
- Perry MC, Carville SF, Smith IC, et al(2007). Strength, power output and symmetry of leg muscles: effect of age and history of falling. *Eur J Appl Physiol*, 100(5), 553-561.
- Peterka RJ, Black FO(1990-1991). Age-related changes in human posture control: sensory organization tests. *J Vestib Res*, 1(1), 73-85.
- Peterka RJ(2002). Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol*, 88(3), 1097-1118.
- Province MA, Hadley EC, Hombrook MC, et al(1995). The effects of exercise on falls in elderly patients. *JAMA*, 273(17), 1341-1347.
- Ragnarsdóttir M(1996). The concept of balance. *Physiother*, 82(6), 368-375.
- Roebroeck ME, Doorenbosch CA, Harlaar J, et al(1994).

- Biomechanics and muscular activity during sit-to-stand transfer. *Clin Biomech*, 9(4), 235-244.
- Ruhe A, Fejer R, Walker B(2011). Center of pressure excursion as a measure of balance performance in patients with non-specific low back pain compared to healthy controls: a systematic review of the literature. *Eur Spine J*, 20(3), 358-368.
- Shumway-Cook A, Woollacott MH(2007). *Motor control: translating research into clinical practice*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Skelton DA, Kennedy J, Rutherford OM(2002). Explosive power and asymmetry in leg muscle function in frequent fallers and non-fallers aged over 65. *Age Ageing*, 31(2), 119-125.
- Tully EA, Fotoohabadi MR, Galea MP(2005). Sagittal spine and lower limb movement during sit-to-stand in healthy young subjects. *Gait Posture*, 22(4), 338-345.
- Vandervoort AA, Chesworth BM, Cunningham DA(1992). Age and sex effects on mobility of the human ankle. *J Gerontol*, 47(1), 17-21.
- Woollacott MH(1993). Age-related changes in posture and movement. *J Gerontol*, 48(special issue), 56-60.
- Woollacott MH, Shumway-Cook A, Nashner LM(1986). Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *Int J Aging Hum Dev*, 23(2), 97-114.
- Yavuzer G, Eser F, Karakus D, et al(2006). The effects of balance training on gait late after stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*, 20(11), 960-969.