

입식과 좌식을 고려한 일어서기 동작의 생체역학적 분석

Biomechanical analysis of the stand-up with respect to stand and sit life pattern

신기영*	김효신*	이규승*	문정환*
		정희원	정희원
K.Y.Shin	H.S.Kim	K.S.Lee	J.H.Mun

1. 서론

일어서는 동작은 일상생활에서 하는 가장 일반적인 행동 중의 하나이며, 다른 동작으로의 전환을 위한 준비자세이기도 하다(Riley PO 등 1991). Corrigan D 등(2001)에 따르면 1987년 65세 이상의 공공시설(병원, 재활시설 등)에서 기거하지 않는 약 2백만명의 노인이 일어서는 동작에서 어려움을 느낀다고 한다. 또한 무릎의 신근(신전을 담당하는 근육)이 약화된 환자들에게도 앉은 자세에서 일어서는 동작은 무릎에 가장 무리를 주는 동작 중의 하나로 작용한다.

이미 많은 선행 연구에서 일어서는 동작에 대한 운동학과 운동역학적 분석, EMG를 이용한 근육의 활동을 고려한 분석을 해왔다. Fleckenstein 등(1988)은 정상적인 근육신경 제어(neuromuscular control)를 하는 사람은 일어서는 동작에서 필요로하는 근육의 힘, 즉 에너지 소비를 줄이기 위해 관절의 모멘트를 작게하는 운동 패턴을 보이지만 그럼에도 불구하고 일어서는 동작은 특히 고관절과 슬관절에 많은 모멘트를 요구한다고 하였고, Dorrenbosch 등(1994)은 일어서는 동작에서 무릎 신근이 약한 사람은 팔을 사용하여 지지하는 것과 같은 추가적인 보상 메카니즘을 사용해야한다고 제안하였다. 또한 Fariba Bahrami 등(2000)은 일어서는 동작에서 손을 짚으면 고관절과 슬관절에 작용하는 토크(torque)가 50%이상 감소하고, 팔의 지지로 일어서는 건강한 피실험자는 일어서는 과정에서 체중의 전이를 쉽게하기 위해 모멘텀 전이(momentum transfer)를 이용한다는 것을 관찰하였다. 이들은 모두 서양식 생활 패턴인 입식 생활을 전제로 한 의자에서의 일어서기에 관한 연구들로 좌식 생활을 하는 한국인의 생활 패턴과는 다소 거리가 있다.

따라서 본 논문의 목적은 한국의 좌식 생활을 전제로 한 쭈그려앉은 자세에서 일어서기와 많은 연구가 선행된 의자에서 일어서기를 비교하고, 무릎의 신근에 무리를 줄이기위한 방법으로 손을 짚고 일어서는 동작을 추가함으로써 하체의 생체역학적 분석을 근거로 한 무릎의 신근에 걸리는 부하를 줄일 수 있는 자세를 알아보는 것이다.

*성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과

2. 재료 및 방법

피실험자는 근골격계나 신경계 질환이 없는 신체 건강한 21살의 성인 남자로 키는 169.4cm, 몸무게 66kg이다.

실험 장비로는 인체의 움직임을 포착하기 위한 생체 운동 분석 시스템(Vicon 460, Oxford Metrics, UK)과 외부로부터의 지면 반력을 측정하기 위한 2개의 Force platform(AMTI, Watertown, MA), 근육의 활동을 측정하기 위해 근전도(Electromyography, EMG) 시스템(MA-300-16, Motion Lab Systems, Inc., Baton Rouge, LA)을 사용했다.

EMG는 하체 중 Tibialis anterior(TA), Lateral gastrocnemius(GC), Vastus lateralis(VL), Rectus femoris(RF), Biceps femoris(BF)와 상체 중 Erector spinae(ES), Deltoid(DT), Triceps brachii(TB)의 근육에 부착하였다(Doorenbosch 등 1994, Ulf 등 1992, Fátima 등 1999).

실험은 1) 쭈그려앉아 일어서기, 2) 쭈그려앉아 땅짚고 일어서기, 3) 의자에서 일어서기, 4) 의자에서 팔걸이 짚고 일어서기, 총 4가지로 나누어 실시하였다. 모든 실험은 10회 반복 시행하였다.

실험시 발이 놓이는 위치(Denis Brunt 등 2002, M.M. Khehlani 등 1999)와 의자의 높이(Corrigan D 등 2001, Schenkman M 등 1996)가 실험 결과에 영향을 주기 때문에 실험 1), 2)의 경우 피실험자가 두 번째 force platform 위에 앉은 상태에서 두 발은 첫 번째 force platform 위에 불편함을 느끼지 않는 범위에서 50° 각도(초기 상태의 COM(center of mass)을 지나는 횡단면을 기준으로 좌우 25° 유지)로 표시한 곳에 위치하도록 하였고, 실험 2), 3)의 경우 높이와 팔걸이 높이가 고정된 의자(높이 : 43.5cm, 팔걸이 높이 : 62cm)를 두 번째 force platform 위에 위치시키고 피실험자는 두 발을 첫 번째 force platform 위에 표시된 곳(실험 1), 2)와 동일)에 위치하도록 실험을 설계하였다. 실험 2)의 경우에는 두 번째 force platform 오른쪽에 손을 짚는 위치를 고정시켰으며, 실험 4)의 경우에도 역시 손을 짚는 위치를 표시하였다. 모든 실험에서 양 팔은 청각적 신호에 따른 일어서기 동작에 앞서 차렷 자세를 유지하였다.

Force platform으로 측정 받은 데이터는 몸무게로 나누어 정상화(normalization)하였다. EMG 데이터는 측정받은 데이터(raw data)를 전파정류(full-wave rectification)하고 cut-off 주파수 6Hz 저역 필터(low pass filter)를 사용하여 처리하였다(Winter 1990).

데이터의 통계적 처리를 위해 SAS(Statistical analysis system) 소프트웨어를 이용하였고 MATLAB 6.5를 이용하여 그래프로 도시화하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 운동학적 분석

Fig. 1은 각 실험에서의 COM의 변화를 표현한 것으로 X가 COM을 의미한다. 쭈그려앉아 일어나기의 결과인 (a)와 (b)를 통해 COM의 궤적이 비슷함으로 알 수 있다. 하지만 의자에 앉아 일어나기의 결과에서 손을 짚지 않고 일어나는 경우(C)에는 상체를 앞으로 숙였

다가 일어나는 반면 손을 의자의 팔걸이에 짚고 일어나는 경우에는 상체를 숙이지 않고 일어나는 양상을 보였다.

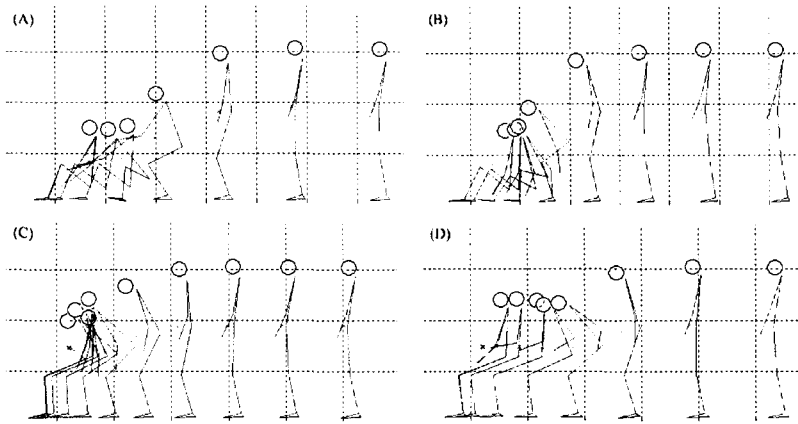


Fig. 1 COM(cross) at the sagittal plane. On the ground : (A) without arm support, (B) with arm support, On the chair : (C) without arm support, (D) with arm support.

관절은 3차원적으로 굴곡·신전, 외반·내반, 내측·외측 회전의 움직임이 있는데 이 중 앉았다 일어서는 과정에서 가장 큰 움직임을 보이는 움직임은 굴곡·신전이다. Fig. 2는 고관절(hip joint)과 슬관절(knee joint), 좌관절(ankle joint)의 굴곡과 신전 작용을 나타낸 것으로 의자에 앉아 일어서는 동작에서 손을 짚는 경우와 그렇지 않은 경우의 굴곡과 신전은 다소 차이가 없는 반면 쭈그려앉아 일어서는 동작에서는 고관절에서 큰 차이를 보였다.

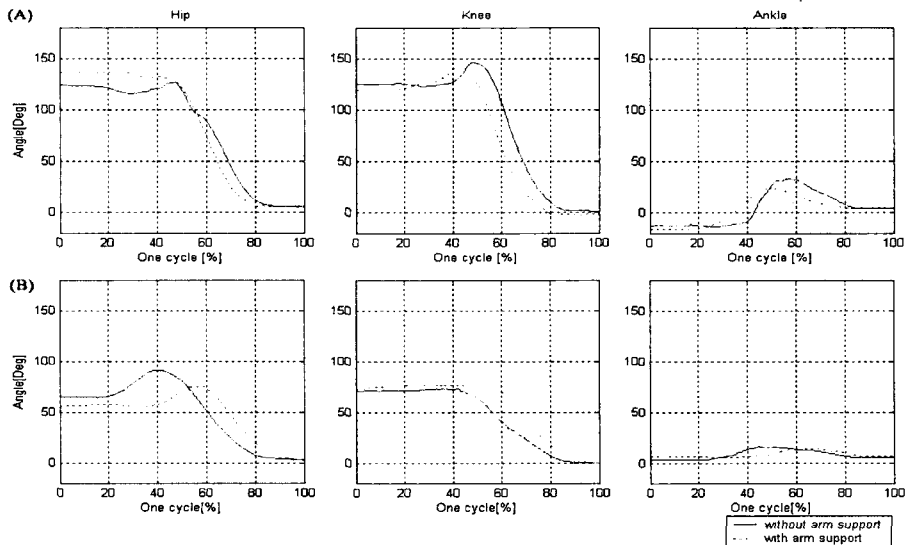


Fig. 2 Joint Flex/ext angle(hip, knee, ankle). (A) On the ground, (B) On the chair

3.2 운동역학적 분석

Fig. 3은 각각의 경우에 대한 수직 지면 반력을 표현한 것이다. 쭈그려앉아 일어서는 동작에서는 수직 지면 반력에는 큰 차이가 없었지만 손을 짚었을 경우 20%(움직임이 시작되는 순간에서 직립까지를 100%로 봄)지점에서 손의 지지로 인하여 수직 지면 반력이 일정시간 동안 변화를 보이지 않는 순간이 나타났다. 의자에서 일어서는 동작에서는 손을 짚는 과정에서 약간의 지연이 있었으며 수직 지면 반력이 손을 짚지 않은 경우보다 약 2N/kg 정도 적게 나타났다. Table. 1에서 보듯이 모든 실험에서의 수직 지면 반력의 평균을 계산한 결과 쭈그려앉은 상태에서 손을 짚지 않고 일어나기, 손을 짚고 일어나기, 의자에 앉은 상태에서 손을 짚지 않고 일어나기, 손을 짚고 일어나기 순으로 점차 감소함을 알 수 있었다.

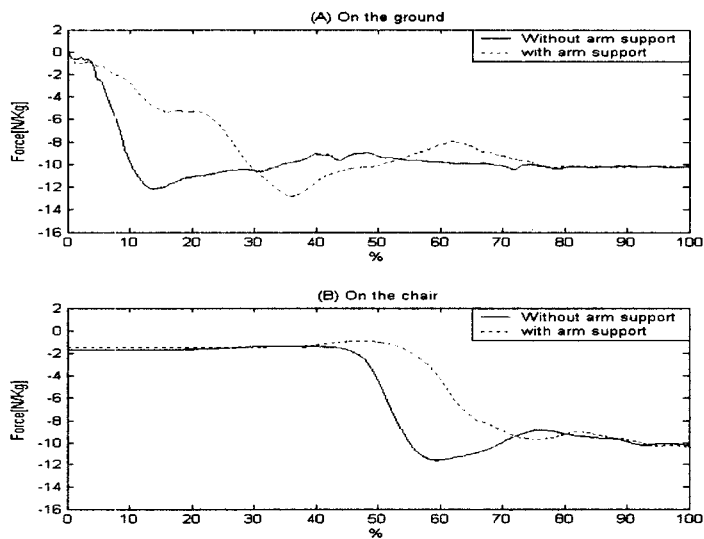


Fig. 3 Vertical reaction force mean curve(n=10) for a representative.

Table. 1 Average vertical ground reaction force(n=10)

	On the ground		On the chair	
	without arm support	with arm support	without arm support	with arm support
Mean[N/kg]	9.4988	8.4004	5.7522	4.5131
S.D	0.1946	0.1701	0.1252	0.2464

관절의 움직임을 표현하는 주된 요소인 각 관절의 모멘트를 Fig. 4에 나타내었다. 슬관절의 경우 쭈그려앉아 일어나기보다 의자에 앉아 일어나기에서 확연한 모멘트 값의 감소를 보이고 각각의 경우 팔을 짚었을 경우 모두 모멘트가 감소하는 결과를 보였다. 이에 반해 고관절과 과관절의 경우 일정한 규칙성을 보이지 않고 있다.

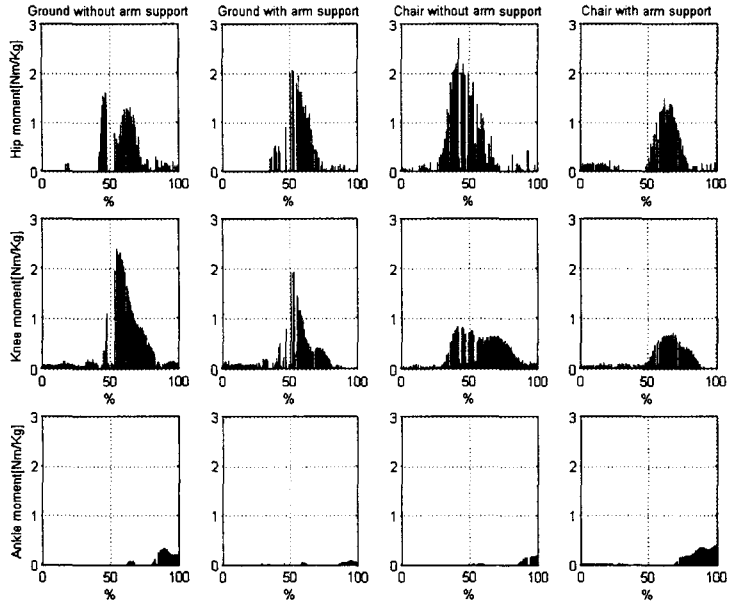


Fig. 4 Joint moment for a representative

3.3 EMG(Electromyography)

Fig. 5에서 보는 바와 같이 꾸그려앉아 일어서기에서 손을 짚은 경우와 짚지 않은 경우 모두 Tibialis anterior의 움직임 가장 크게 나타났고 그 중에서도 손을 짚지 않은 경우가 더 활동적으로 작용하였다. 상체의 경우 꾸그려앉아 일어서기에서 손을 짚지 않은 경우에도 Deltoid가 작용하였다. 의자에 앉아 일어서기에서는 모든 하체 근육이 꾸그려앉아 일어설 때 보다 적게 사용되었고 의자에서 손을 짚고 일어설 때에는 하체 근육이 거의 사용되지 않았다.

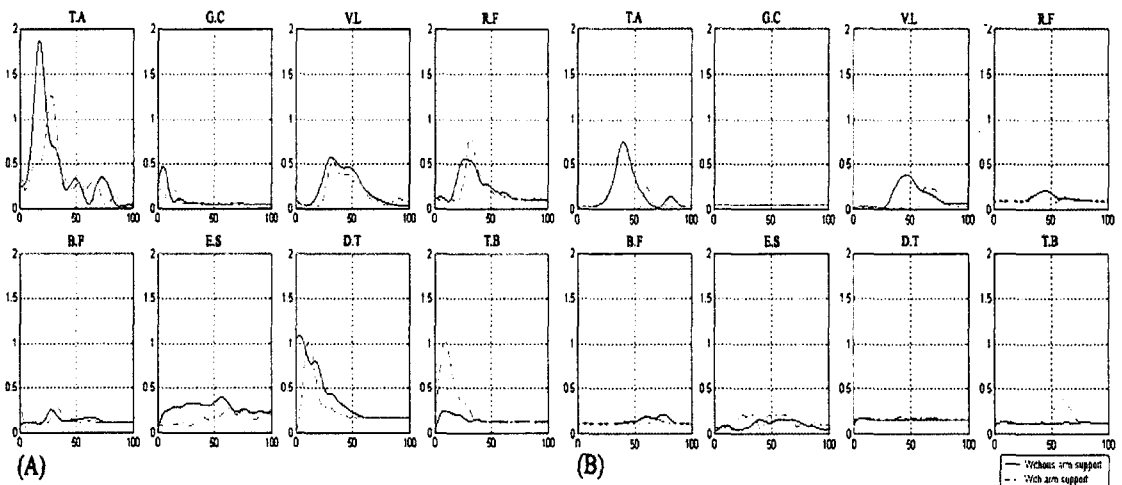


Fig. 5 EMG activity for a representative during stand-up. (A) On the ground, (B) On the chair

4. 요약 및 결론

모멘트를 구하는 식은 다음과 같다.

$$M = F \cdot d$$

모멘트를 줄이기 위해서는 힘(F)를 감소시키거나 모멘트 팔의 길이(d)를 줄이는 방법이 있는데 의자에 앉아 일어서는 동작에서 Fig. 2에서 보듯이 고관절에서의 굴곡·신전에 차이를 보였다. 이러한 차이는 손을 짚지 않은 경우 Fleckenstein 등(1988)이 제시한 것처럼 모멘트를 최소화하기 위해 상체를 앞으로 숙여 COM을 앞으로 이동시킴으로써 모멘트 팔의 길이를 줄이기 위한 것으로 볼 수 있다. 이에 반해 손을 짚은 경우에는 COM에 작용하는 힘을 감소시켜 모멘트를 최소화하였다.

쭈그려앉아 일어서기에서 손을 짚지 않은 경우에는 모멘트 팔의 길이를 줄이기 위해 피실험자가 뒤꿈치를 몸쪽으로 붙이려는 경향을 보였고 Tibialis anterior의 순간적인 작용으로 COM을 앞으로 이동시켰다. 또한 Fig. 5를 통해 손을 짚지 않았음에도 불구하고 deltoid가 작용한 것은 COM을 앞으로 이동시키기 위해 팔을 앞으로 뺀기 때문이다. 손을 짚은 경우에는 COM에 작용하는 힘을 감소시킴으로써 전체적인 근육의 활동을 감소시키는 효과를 보였다.

쭈그려앉아 일어서기와 의자에 앉아 일어서기의 두 경우에서 COM을 앞으로 이동시키는 방법과 팔의 지지로 COM에 작용하는 힘을 줄이는 방법 모두 모멘트를 감소시켰지만 이중 팔의 지지가 더 효과적이다. 특히 의자에서 팔걸이를 짚고 일어서는 동작이 슬관절에 작용하는 모멘트를 줄이는 가장 효과적인 방법이다.

Caroline 등(1994)은 자세의 변화로 인해 모멘트의 변화가 있게 되면 다른 곳에서 보상작용이 일어난다고 하였다. 하지만 본 연구의 경우에는 Fig. 4에서 보듯이 이러한 보상작용이 일정하게 일어나지 않고 있다. 이는 손을 짚는 동작이 새로운 변수로 추가되었기 때문에 하체만의 보상작용에 대한 일정한 패턴을 보이지 않은 것이라 할 수 있다. 견갑관절(shoulder joint)나 상완과 전완을 연결하는 관절(elbow joint) 등의 모멘트를 알수 있다면 그러한 관계가 성립되는지를 증명할 수 있을 것이다.

COM과 운동학 및 운동역학적 분석, EMG를 모두 고려한 결과 관절염과 같은 질병이나 사고에 의해 슬관절의 굴곡·신전의 기능을 담당하는 근육의 능력이 저하되어 재활을 필요로 하는 환자를 비롯하여 근력이 약화된 노인의 경우 쭈그려앉아 일어서는 것보다는 Fig. 5에서 보듯이 하체의 근육을 거의 사용하지 않는 즉, 슬관절에 가장 무리가 적게 가는 팔걸이가 있는 의자를 사용할 것을 권장한다.

5. 참고문헌

1. Riley PO, Schnekman ML, Mann RW, Hodge WA. 1991. Mechanics of a constrained chair-rise. J Biomech 24(1):77-85.

2. Fleckenstein, SJ, Kirby RL and Macleod DA. 1988. Effect of limited knee-flexion range on peak hip moments of force while transferring from sitting to standing. *J. Biomechanics* 21:915-918.
3. Doorenbosch CA, Harlaar J, Roebroek ME, Lankhorst GJ. 1994. Two strategies of transferring from sit-to-stand: the activation of monoarticular and biarticular muscles. *J Biomech* 27(11):85-92.
4. Ulf P. Arobrelius, Per Wretenberg, and Fredrik Lindberg. 1992. The effects of armrests and high seat heights on lower-limb joint load and muscular activity during sitting and rising. *Ergonomics* 35(11):1377-1391.
5. Fátima Rodrigues-de-Paula Goulart, Josep Valls-Solé. 1999. Patterned electromyographic activity in the sit-to-stand movement. *Clinical Neurophysiology* 110:1634-1640.
6. Denis Brunt D, Brigid Greenberg, Sharmin Wankadia, Mrak A. Trimble, Orit Shechtman. 2002. The Effect of Foot Placement On Sit to Stand In Healthy Young Subjects and Patients With Hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil* 83:924-929.
7. M.M. Khemlani, J.H. Carr, W.J. Crosbie. 1999. Muscle synergies and joint linkages in sit-to-stand under two initial foot positions. *Clinical Biomechanics* 14(4): 236-246.
8. Fariba Bahrami, Robert Riener, Parviz Jabedar-Maralani, Günther Schmidt. 2000. Biomechanical analysis of sit-to-stand transfer in healthy and paraplegic subjects. *Clinical Biomechanics* 15(2):123-133.
9. Corrigan D, Bohannon RW. 2001. Relationship between knee extension force and stand-up performance in community-dwelling elderly women. *Arch Phys Med Rehabil* 82:1666-1672.
10. Schenkman M, Riley PO, Pieper C. 1996. Sit to stand from progressively lower seat heights-alterations in angular velocity. *Clinical Biomechanics* 11(3):153-158.
11. David A. Winter. 1990. Biomechanics and motor control of human movement. John Wiley & Sons, Inc. New York. p.204.