## Correlations between Biomechanical Characteristics, Physical Characteristics, and the Ability to maintain Dynamic Sitting Balance on an Unstable Surface in Disabled with Spinal Cord Injury

#### **ABSTRACT**

Objective: This study aims to analyze the factors that affect the ability to maintain dynamic sitting balance (DSB), biomechanical characteristics, and physical characteristics in spinal cord injuries (SCI) patients. Background: Virtual ski training systems, ski equipment, and training protocols for disabled skiers are being studied to spread awareness. However, few studies have been reported on the sitting balance ability associated with chair mono skiing. Method: A dynamic sitting balance border system was built to investigate the ability to maintain dynamic sitting balance in SCI patients. Trunk muscle activity was evaluated by electromyogram while conducting dynamic sitting balance tests. The trunk muscle strength was tested with a portable handheld dynamometer. Physical activity scores were measured with the physical activity recall assessment. Results: There were high levels of correlation between the ability to maintain DSB and trunk flexor strength, extensor strength, rotator strength, and physical activity score. However, height, weight, and injury level in SCI patients were not correlated with the ability to maintain DSB. Additionally, strong negative correlations were found between muscle activities of the external oblique and lumbar erector spinae muscles and the ability to perform the backward tilt test. Trunk extensor muscle activity during the ball life test was significantly higher than in other tests. Conclusion: The results indicate that improving trunk muscle strength and physical activity can increase the ability to maintain DSB. Application: The findings of a close relationship between trunk strength, physical activity, and the ability to maintain DSB need to be reflected in the chair mono ski training program.

Keywords: Chair mono ski, Disabled with spinal cord injury, Sitting balance, Strength, Muscle activity

#### 1. Introduction

동계스포츠의 대중화로 스키와 스노보드를 타는 인구 수는 매년 증가하며, 최근에는 2018년 평창동계올림픽 개최를 계기로 장애인 동계 스포츠에 대한 장애인과 일반인의 관심이 커지고 있다. 하지만 국내 장애인 동계스포츠는 관련 시설과 장애인 스포츠에 대한 인식, 정보의 부족으로 인하여 활성화되지 못하는 현실이다. 이는 선수부족 현상에서도 알 수 있는데, 국제대회 출전 자격을 갖춘 개인전 선수는 스키 종목 6명, 스노보드 2명이며, 그 중에서도 실제대표선수로 참가하는 장애인은 스키종목에서 3명뿐이다. 장애인의 스키는 장애 영역에 따라 입식(standing), 좌식 sitting), 시각장애(blind) 세가지로 분류되며, 장애 등급에 따른 가산 점을 부여하여 공평한 조건을 만들어 경기를 진행

한다(Petrofsky 1997,Uh 2009). 이 중에서 좌식 스키는 안전성과 스포츠의 즐거움을 동시에 제공하여 다른 장애인 스키보다 조금 더 보급된 편이며(Uh 2009), 국내 장애인 대표선수도 모두 좌식 모노스키를 타고 있다. 척수 손상 및 절단장애인이 이용하는 좌식 모노스키는 양손에 아웃트리거(outrigger)라는 보조도구를 사용하며, 시트에 앉아 상체를이용하여 체중을 이동하고 힘의 강약을 조절한다. 그렇기때문에 강한 상지 근육의 힘과 앉은 자세 균형감각을 필요로 한다(Uh 2009).

척추 손상 장애인은 손상 수준, 체간 근력과 같은 신체적 요인으로 인한 체간의 안정성 부족과 균형 능력 결여로 인해 자세 조절 기능이 손상되어 불안정한 직립 자세를 보인다(Seelen et al., 1997,Serra-Añó et al., 2012). 또한 본질적으로 안정적인 자세가 아니기에 상체의 가벼운 움직임에도 앉은 자세 균형이 매우 불안

정하게 된다(Klefbeck et al., 1996,Serra-Añó et al., 2012). 상지의 움직임이 많은 좌식 스키에서 척수 손상 장애인의 앉은 자세 균형 감각은 매우 중요한 요소이므로 체간의 안정성 훈련은 매우 필수적이다.

최근 장애인 동계 스포츠의 확산과 체어 모노스키실전에 앞서 스키에 대한 적응력 향상을 목적으로 하지 마비 장애인을 위한 좌식 스키용 가상 스키 훈련장비와 훈련 프로토콜이 개발 연구되고 있다(Uh 2009,Hwang 2010,Chang et al., 2013). 좌식 스키와 관련하여 앉은 자세 균형에 관한 연구는 Pernot (2011)의 연구가 유일하며, 그는 정적 앉은 자세 균형과 체중심에관하여 보고하였다. 하지만 좌식 스키는 상지와 체간을 사용하여 동적 균형 감각과 밀접한 연관이 있으며, 아직까지 이와 관련된 연구는 미흡한 실정이다

따라서, 본 연구의 목적은 척추 손상 장애인을 대상으로 동적 앉은 자세 균형과 체간 근력, 신체적 특성, 체간의 근 활성도를 평가하여 요소들간의 상관성을 알아보고자 하였다. 이는 향후 실제 장애인 좌식 스키훈련에 대한 프로토콜 정립과 더불어 훈련기 및 관련장비 개발에 기초자료로써 활용하고자 한다.

#### 2. Method

#### 2.1 Participants

본 연구는 척수손상 진단을 받은 하지 마비 장애인 8명을 대상으로 하였다. 연구 대상자의 선정 기준은 휠체어 의자에서 상체를 세워 앉을 수 있는 흉추 9번 수준 이하의 척수 손상 대상자이며, 상체에 근•골격계 질환 및 신경학적 증상이 없는 자로 하였다. 골절이나 하지의 체중부하 금기증을 가지고 있는 자, 피부 손상이나 욕창이 있는 자, 기립성 저혈압과 심혈관 질환이 있는 자는 연구에서 제외하였다. 이들에게 실험에 대한 충분한 설명을 하고 연구 동의서에 서명한 후 실험에 임하였다.

#### 2.2 Tasks and Apparatus

#### 2.2.1 Sitting balance assessment

본 연구에서는 불안정한 보드 위에 앉은 자세 균형감각을 측정하고자 반구 위에 의자를 설치하여 지그를 제작하였으며(Figure 1), 원활한 체간의 후방 움직임을 위하여의자의 등받이는 제거하였다. 또한 낙상의 사고를 방지하고자 주변에 안정 가이드 쿠션 바를 설치하여 만일의 위험에 대 비하였다.

앉은 자세 균형감각 능력 검사는 좌식 스키 장애 등급 기준 검사인 test-table-test를 수정•변경하여 평가 하였 다 (Pernot et al., 2011). 기존의 검사는 안정된 지면 위에서의 측정이기에 전방, 후방 45° 기울임이 가능할 수 있으나 불 안정한 지면 위에서는 사고의 위험이 크기에 기준 각도를 전방 30°, 후방 10°로 수정하였다(Table 1). 모든 대상자 는 본 실험에 앞서서 실험 테이블 위에 앉아 정적 지면 위 에서의 체간의 전 · 후방 최대 기울임 각도를 측정하였으며, 측정한 각도의 평균의 근사값으로 기준 각도로 설정하였다. 앉은 자세 균형감각 검사하기 위해 피검자들은 양손을 체 간 옆에 위치시킨 자세로 제작한 지그(밸런스 보드 변형) 위에 상체를 피고 앉는다. 검사자는 피검자의 무릎을 스트 랩으로 감아 고정시킨 뒤, 피검자의 무릎이 90° 굴곡되도 록 위치시킨다. 그런 다음 검사자는 손으로 발목을 잡고 검 사자의 체중을 이용하여 발목 위치를 고정시킨 뒤 4가지의 균형감각 기능 검사를 실시하였다.

- · Test 1(전방 기울기): 피검자는 지그 위에서 최대한 상체를 전방으로 기울인 후 5초간 자세를 유지한다.
- · Test 2(후방 기울기): 피검자는 지그 위에서 최대한 상체를 후방으로 기울인 후 5초간 자세를 유지한다.
- · Test 3(체간 회전): 피검자는 지그 위에서 상체를 최대한 꼿꼿이 세운 뒤 양팔을 90° 외전 시킨다. 천천히 체간을 좌우로 1번씩 회전한다.
- · Test 4(공들어 움직이기): 피검자는 지그 위에서 상체를 최대한 꼿꼿이 세운 뒤 1kg의 medicine ball을 양손으로 머리 위로 들어 올린다. 머리위로 들어올린 공을 좌, 우, 후방으로 이동시킨다.

4가지 균형감각 기능검사의 수행 정도 평가 기준은 Table 1과 같으며, 각 수행과제는 3회 반복 측정하였다. 균형감각 기능검사를 하는 동안 피검자들의 체간 기울임 각도를 평가하고자 측면에서 동영상 촬영(a57, Sony, Japan)을 하였으며, 견봉, 대퇴골두와 대퇴골과에 반사마커(20mm)를 부착하여 견봉에서 대퇴골두, 대퇴골두에서 대퇴골과의 사이 각을 체간의 기울기 각도로 정의하여 수행 정도를 평가하였다.

각 균형감각 기능검사의 수행 점수는 반복 측정값의 평균값을 사용하였으며, 4가지 균형감각 기능검사의 수 행 점수를 합한 값을 앉은 자세 균형감각 능력 점수로 사용하였다(Pernot et al., 2011).

### 2.2.2 Electromyography

4가지 균형감각 기능검사를 하는 동안 체간 근육의 사용 패턴을 확인하기 위해 표면 근전도 시스템(Trigno Wireless EMG System, DELSYS., USA)을 이용하여 근 활 성도를 측정하였으며, EMG works 4.0 Analysis 소프트웨어(Delsys Inc.,USA)를 사용하여 데이터를 분석하였다. 체간의 안정성에 관여하는 근육들 중 표면 근전도로 측정이 가능한 4개의 표재근(상 복직근, 외복사근, 흉추부 기립근, 요추부 기립근)을 선택하여 실험하였고 (Anders et al., 2008), 전극 부착위치는 SENIAM 프로제트에서 제시한 방법을 이용하여 근육의 벨리 (Muscle belly)에 부착하였다(Hermens et al., 1999)

근전도 시스템은 무선방식의 건식 센서(37mm x 26mm x 15mm,Delsys Inc.,USA)로 구성되었으며, 근전도 신호의 표본 추출률은 2,000Hz로 설정하였고, 20~500Hz 대역필터를 사용하였다. 각 근육 별 근전도 신호를 RMS 처리하였으며, 정량화 방법은 최대 근 수축 값(maximal voluntary contraction: %MVC)을 기준으로 측정된 근 활성도 값을 백 분율로 정리하여 사용하였다.

#### 2.2.3 Strength of trunk muscles

모든 대상자들은 균형감각 기능검사 후 도수 근력측정계(Power TrackII Commander, JTECH Medical, UT)를 이용하여 체간 굴곡근력, 신전근력, 좌, 우 회전근력을 측정하였고, 무작위로 실시하였다. 각 검사간 휴식 시간은 5분이며, 각 검사는 3회 반복 측정하였다. 대상자들의 근력 값은 3회 반복 측정 값의 평균치를 사용하였다(Cynn et al., 2006,Kim et al., 2012).

## 2.2.4 Physical activity measurement Leisure time physical activity

신체 활동 수준은 척수손상 환자를 위한 신체활동리콜 평가(Physical activity recall assessment \_ SCI)중 여가시간 신체활동(Leisure time physical activity: LTPA) 시간으로 계산되었다. 항목은 크게 3가지로 (1) 가벼운 활동, (2) 중간 정도 활동, (3) 격한 활동으로 분류되며, 매일 활동 시간을 계산하며, 총 일주일간 조사하였다. 본연구에서는 선행연구와 동일하게 여가 활동 시간 항목중 중간 정도 활동과 격한 활동 시간만 사용하였으며, 총 시간을 일수로 나눠 대상자의 여가시간 신체활동점수를 계산하였다(Martin Ginis et al., 2010).

#### 2.3 Statistical analysis

본 연구의 독립변수와 종속 변수는 Table 3과 같으며, 통계 프로그램 SPSS ver. 20(SPSS Inc., USA)을 사용하여 분석하였다. 정규 분포를 확인하기 위해 일표본 kolmogorov Smirnov 적합도 방법으로 검정하였으며, 근 활성도 결과에서만 정규 분포를 나타내었다. 대상자들의 앉은 자세 균형감각 능력과 체간 근력, 신체활

동지수, 일반적 특성 요소간의 상관관계와 각 균형감각 기능검사의 수행 정도와 측정된 근육의 활성도의 상관관계를 알아보고자 스피어만 상관 분석(Spearman's rank-correlation coefficient)을 실시하였으며, 각 체간 근육 별 근력과 각 균형감각 기능검사의 수행 정도 차이는 Friedman 검정을 통해 분석하였다. 각 균형 기능 검사에 대한 근육 사용 패턴은 일원배치 분산분석 (one-way ANOVA)을 실시하였으며, 각 근육 별 균형기능 검사간의 활성도 차이는 반복 측정 분산분석 (repeated measured ANOVA)을 실시하였다. 유의성에 대한 사후 검정은 Bonferroni 검정을 실시하였으며, 통계적 유의수준은 p < .05로 설정하였다.

#### 3. Results

연구 대상자의 일반적 특성은 Table 2와 같으며, 평균체간 근력은 체간 굴곡 근력 0.72±0.20N/(kg×m), 체간 신전 근력 0.59±0.27N/(kg×m), 좌측 회전근력 0.63±0.18N/(kg×m), 우측 회전근력 0.64±0.23 N/(kg×m)로 통계학적으로 유의하지는 않지만 평균적으로 복근의 근력이우세한 경향을 보였다. 또한 신체활동 수준 설문 결과, 대상자들은 하루 평균 45.0±49.4분을 중간 정도 이상의 여가활동으로 시간 보냄을 확인할 수 있었다.

#### 3.1 Ability of sitting balance

각 균형감각 기능검사의 평균 수행 점수는 전방기울기 (Test1)  $1.1\pm 1.1$ , 후방 기울기(Test 2)  $1.0\pm 0.9$ , 체간 회전(Test 3)  $2.3\pm 0.7$ , 공 들어 움직이기(Test 4)  $1.6\pm 1.1$ 이였다. Friedman 검정 결과, 대상자들이 가장 편하게 수행하는 것은 체간 회전 검사이며, 후방 기울이기 검사를 가장 힘들게 수행하였다 ( $\chi^2=16.4, p=0.001$ ).

#### 3.2 Muscle activity

반복 측정 분산분석 결과, 4가지의 균형감각 기능 검사에서 체간 굴곡근(상복근과 외복사근)은 비슷한 수준으로 사용되었지만(p>.05), 흉추부 척추 기립근(F=7.35, p=0.03)과 요추부 척추 기립근(F=9.89, p=0.02)은 검사 간의 유의한 차이를 보였다. 체간 신전근(흉·요추부 척추 기립근)은 Test 1,2,3에서 비슷하게 작용하였으나 Test 4에서 다른 검사에 비해 많이 사용되었다(p<0.01)(Figure 2-A).

각 균형감각 기능 검사의 근활성도 패턴을 일원배치 분산 분석한 결과, Test 1에서는 체간 신전근(요추부) 이 체간 굴곡근보다 근활성도가 크게 나타났으며(F = 4.63, p = 0.009), 이와 반대로 Test 2에서는 체간 굴곡근(외복사근)이 체간 신전근 보다 크게 활성 됨을 확인 할 수 있었다(F = 2.867, p = 0.04). Test 3과 Test 4에서는 통계적으로 근육간의 유의한 차이는 없었다(p > .05) (Figure 2-B). 그밖에 통계적으로 유의하지 않지만, 4가지기능 검사에서 전반적으로 상복근이 다른 근육에 비하여 낮게 활성 되는 경향을 보였다(Figure 2-B).

# 3.3 Correlation between the ability of sitting balance and physical characteristics of participants

앉은 자세 균형감각 능력과 대상자들의 신체적 특성 간의 스피어만 상관관계 분석 결과, 앉은 자세 균형 감각은 체간의 굴곡근력, 신전근력, 좌·우 회전근력과 높은 양의 상관 관계를 가지고 있으며, 또한 신체활동 수준에서도 높은 상관관계를 나타냈다(p < 0.01). 반면 척수 손상수준, 키, 몸무게와 앉은 자세 균형감각과는 관련성이 적었으며, 통계적으로 유의하지 않았다(p > .05)(Table 4).

# 3.4 Correlation between the ability of sitting balance and activity of trunk muscles

각 균형감각 기능 검사 수행 정도와 체간 근육의 활성도의 스피어만 상관성 검증 결과, Test 2(후방 기울이기)에서만 외복사근과 요추부 척추 기립근 근 활성도와 높은 음의 상관관계를 확인하였다(p<0.05)(Table 5).

### 4. Conclusion

본 연구에서는 척수 손상 장애인의 동적 앉은 자세 균형감각과 신체적 특성의 상관성을 규명하여 균형감각에 영향을 주는 요인을 알아보고자 하였다. 연구 결과, 척수 손상 장애인의 동적 앉은 자세 균형감각과체간 근력간에는 높은 양의 상관관계가 있었지만, 키,몸무게, 척수 손상 수준과는 관련성이 없었다. 체간의안정성은 일상생활과 스포츠 활동에 있어서 매우 중요하다. 다수의 연구에서 이미 밝혀진 바,스포츠에서 체간 근력의 향상은 체간의 안정성을 보다 확보하여 기능적 움직임에 긍정적 영향을 주면 더 나아가 경기력향상으로 이어지게 된다(Kibler et al., 2006,Kim 2010,Granacher et al., 2013). 특히, 장애인의 체간의 안정성은 일반인들과 달리 불안정성을 보이기 때문에 체육

활동에 있어서 필수적으로 평가되어야 할 부분이다. 앉은 자세 균형은 체간의 안정성과 밀접한 관련이 있으며, 동계 장애인 스포츠에서는 이러한 부분을 고려하여 앉은 자세 균형 능력을 검사한다(Pernot et al., 2011). 임상적으로 척수 손상 수준이 높을수록 체간의 근력은 저하되는 경향을 보인다. 그렇기 때문에 일반적으로 손상 수준이 높을수록 체간의 안정성이 부족하다는 인식이 강하다. 하지만 본 연구 결과, 흉추 9번이하 손상에서는 손상 수준과 균형감각에 큰 연관성이 없었는데, 이는 척수 상위 수준의 손상이어도 체간 근력이 좋다면 동적 균형 감각 좋을 수 있다 것을 시사하는 바이다.

또한 연구결과, 중간 강도 이상의 여가생활을 많이 하는 장애인일수록 체간 근력이 좋았으며, 동적 균형 감각이 높음을 알 수 있었다. 하지 마비 장애인의 신 체활동 지수는 신체활동 리콜 평가를 많이 사용하며, 이는 여가시간 신체활동, 일상생활 신체활동, 점증적 신체활동으로 나눠 평가된다. 총 73명의 척수손상 장 애인을 대상으로 실시된 선행연구에서 근력과 건강은 중간 정도 이상의 여가생활에서 양의 상관관계를 가지 고 있지만, 일상생활 지수와는 관련성이 없다고 보고 하였다(Latimer et al., 2006). 가벼운 일상 생활 시간을 많이 보내는 것보다 중간 강도 이상의 여가 생활을 하 는 것이 체력과 건강에 더 도움이 됨을 의미하는데 본 연구 결과, 여가생활을 하는 사람이 동적 균형감각이 높아 보다 기능적인 움직임을 원활하게 수행할 수 있 음을 확인 할 수 있었고, 이전 선행 연구와도 일치하 였다.

본 연구에서는 표면 근전도를 이용하여 동적 앉은 자세 균형 검사 시 체간 근활성도 패턴을 알아보고 추 후 균형 훈련에 있어서 기초 자료로 삼고자 하였다. 근전도 측정 결과, 전방 기울이기 동적 균형 평가에서 는 요추부 신전근이 66.4%MVC로 많이 사용되었고, 후 기울이기 동적 균형 평가에선 외복사근이 57.5%MVC으로 가장 높게 측정되었다. Anders (2006) 의 연구에서 3차원 척추 안정화 훈련기를 이용하여 전 신을 전방으로 기울였을 때 자세를 유지하기 위해 체 간의 신전근이 활성 되고, 후방 기울임 시 체간 굴곡 근이 주동근으로 사용되는 경향과 일치한다. 전·후방 기울임 자세를 유지할 때, 요추부의 근육(외복사근, 요 추부 척추 기립근)들이 주요하게 사용됨을 알 수 있는 데, 이는 체간 중심근육이 체간의 안정성에 기여한다 는 선행 연구와도 유사하다(Cholewicki and McGill 1996, Kibler et al., 2006, Anders et al., 2008, Kim 2010). 또한, 본 연구 결과 후방 기울임 동적 훈련 검사는 수행 능 력과 요추부 근육간의 높은 음의 상관관계를 가지고 있음을 확인하였는데, 이는 체간의 안정성이 확보되어 동적 균형 감각이 향상되면 적은 근육의 사용으로도 자세를 유지할 수 있음을 시사하는 바이다. 이러한 동적 균형 검사는 임상에서 균형 훈련 방법으로도 사용될 수 있다. 그런 관점으로 본다면, 발란서 보드를 이용하여 전·후방 기울임 동적 앉은 자세 균형 훈련은 착수 손상 장애인의 요추부 근력을 단련 시킬 수 있는 훈련 방법으로 제시되는 바이다.

각 체간 근육 별 동적 균형검사 간의 활성도를 알아본 결과, 체간 굴곡근은 동작간의 차이가 없었던 반면, 체간 신전근은 다른 검사에 비하여 상지를 움직이며 균형을 잡는 검사에서 크게 활성화되었으며(평균77%MVC), 통계적으로도 유의하였다. 이는 체간 신전근은 상지의 움직임이 심할수록 체간의 안정성을 유지하기 위해 다른 동적 균형 동작보다 활동이 증가함을 의미한다. 좌식 스키는 상체를 이용하여 체중이동과힘의 강약을 조절하고 팔과 어깨 근육을 이용하여 균형을 맞추고 턴을 유도하기에 상지의 움직임이 많다(Uh 2009). 이러한 장애인 스키의 특성을 고려한다면, 체간 신전근에 관한 훈련은 필수적으로 이뤄져야 한다고 생각하는 바이다.

장애인들에게 생활 체육은 신체적, 정신정 안정감을 주는 것 외에도 사회적으로 일반인들과 교류, 화합할 수 있는 기회와 자기 효능 감을 높일 수 있어 삶의 질 향상에 긍정적 영향을 주게 된다(Lee 2004). 그렇기 때 문에 스포츠를 통한 재활 훈련 연구가 활발하게 진행 되고 있으며, 많은 장애인 스포츠 관련 기술과 장비가 개발 되고 있다. 최근 평창 동계 올림픽 개최로 장애 인 동계 스포츠의 관심이 증가하고 있지만, 장애인 동 계 스포츠는 다른 장애인 스포츠에 비하여 접근이 어 소수의 장애인만 참여하고 려워 있으며(Burkett 2012,Gastaldi et al., 2012), 이와 관련된 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 장애인의 동적 균형감각에 영향을 주는 요소를 파악하고 생체역학적 분석을 통해 동적 균형 검사 방법에 따른 체간 근 활성도 패턴을 분석하였다. 이러한 척추 손상 장애인의 앉은 자세 균 형감각과 신체적 특성을 확인함으로써 좌식 스키를 이 용함에 있어 보다 안전하게 즐길 수 있는 지침을 제시 할 수 있으며, 나아가 이와 관련된 스포츠 손상을 예 방할 수 있을 것이라 사료된다. 또한 동적 균형을 유 지하는 동안 체간 근육의 근 활성 패턴 분석은 추후 장애인 추후 장애인 좌식 스키 장비 및 훈련기기 개발 에 있어 기초적인 자료로 활용될 것이라 기대되는 바 이다.

본 연구는 적은 수의 남성 척수 손상 장애인을 대상 으로 진행하였기 때문에 하지 마비 장애인에 대하여 일반화하기에는 어려운 제한 점을 가지고 있다. 추후 성별, 연령, 손상수준의 차이에 따른 동적 균형 감각과 체간 근 활성도 변화에 대한 연구가 이뤄져야 할 것이 다.

#### References

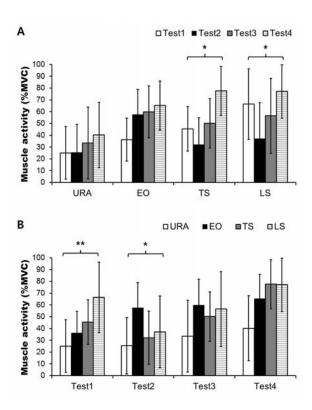
- Anders, C., Brose, G., Hofmann, G. O. and Scholle, H.-C., Evaluation of the EMG-force relationship of trunk muscles during whole body tilt, *Journal of biomechanics*, **41**(2), 333-339, 2008.
- Burkett, B., Paralympic Sports Medicine—Current Evidence in Winter Sport: Considerations in the Development of Equipment Standards for Paralympic Athletes, *Clinical Journal of Sport Medicine*, **22**(1), 46-50, 2012.
- Chang, Y. H., Kim, G. S., Ryu, J. C., Kim, S. K. and Mun, M. S. "Characteristics of COP pathway during virtual training on the chair monoski simulator for disabled skier.", *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*. Jeju. 5: 1123-1124, 2013.
- Cholewicki, J. and McGill, S., Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain, *Clinical Biomechanics*, 11(1), 1-15, 1996.
- Cynn, H.-S., Oh, J.-S., Kwon, O.-Y. and Yi, C.-H., Effects of lumbar stabilization using a pressure biofeedback unit on muscle activity and lateral pelvic tilt during hip abduction in sidelying, *Archives of physical medicine and rehabilitation*, **87**(11), 1454-1458, 2006.
- Gastaldi, L., Pastorelli, S. and Frassinelli, S., A Biomechanical Approach to Paralympic Cross-Country Sit-Ski Racing, Clinical Journal of Sport Medicine, 22(1), 58-64, 2012.
- Granacher, U., Gollhofer, A., Hortobágyi, T., Kressig, R. W. and Muehlbauer, T., The importance of trunk muscle strength for balance, functional performance, and fall prevention in seniors: a systematic review, *Sports Medicine*, 1-15, 2013.
- Hermens, H. J., Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., Disselhorst-Klug, C. and Hägg, G., European recommendations for surface electromyography, Roessingh Research and Development The Netherlands, 1999.
- Hwang, S., (The)effects of 12 weeks physical strength training on the alpine mono skiers' aerobic power and anaerobic power. Special Physical Education. Yongin, Yongin university: 50, 2010.
- Kibler, W. B., Press, J. and Sciascia, A., The role of core stability in athletic function, *Sports Medicine*, **36**(3), 189-198, 2006.
- Kim, K. J., Effects of core muscle strengthening training on flexibility, muscular strength and driver shot performance in female professional golfers, *Int J*

- Appl Sports Sci, 22(1), 111-127, 2010.
- Kim, S. B., Chang, Y. H., Kim, S. K., Bae, T. S., Mun, M. S. and Park, J. C., Changes of Muscle Activation Pattern of Trunk Muscles during Whole-body Tilts with and without Axial Rotation Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 29(7), 805-810, 2012.
- Klefbeck, B., Mattsson, E. and Weinberg, J., The effect of trunk support on performance during arm ergometry in patients with cervical cord injuries, *Spinal Cord*, **34**(3), 167-172, 1996.
- Latimer, A. E., Ginis, K., Craven, B. C. and Hicks, A. L., The physical activity recall assessment for people with spinal cord injury: validity, *Medicine and science in sports and exercise*, **38**(2), 208, 2006.
- Lee, H.-k. The effect of the winter sports participation in self-efficacy of handicapped. Graduate school of leisure science, Korea National Sports University, 2004.
- Martin Ginis, K. A., Latimer, A. E., Arbour-Nicitopoulos, K. P., Buchholz, A. C., Bray, S. R., Craven, B. C., Hayes, K. C., Hicks, A. L., McColl, M. A. and Potter, P. J., Leisure time physical activity in a population-based sample of people with spinal cord injury part I: demographic and injury-related correlates, *Archives of physical medicine and rehabilitation*, **91**(5), 722-728, 2010.
- Pernot, H., Lannem, A. M., Geers, R. P., Ruijters, E. F., Bloemendal, M. and Seelen, H. A., Validity of the test–table–test for Nordic skiing for classification of paralympic sit-ski sports participants, *Spinal Cord*, **49**(8), 935-941, 2011.
- Petrofsky, J., Skiing with a disability, Palaestra Spring, 1997.
- Seelen, H. A. M., Potten, Y. J. M., Huson, A., Spaans, F. and Reulen, J. P. H., Impaired balance control in paraplegic subjects, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 7(2), 149-160, 1997.
- Serra-Añó, P., Pellicer-Chenoll, M., Garcia-Massó, X., Brizuela, G., García-Lucerga, C. and González, L., Sitting balance and limits of stability in persons with paraplegia, *Spinal Cord*, 2012.
- Uh, H., Development guidelines of skills training for disabled Mono skier, Korea Institute of Sports Science, 2009.

### Figure



**Figure 1.** The actual figure of the test-balance board which developed from KOREC



**Figure 2.** Result of the sEMG(%MVC) of trunk muscles during 4 tests (A) and difference of muscle activity between trunk muscles during tests (B) Abbreviations: URA, upper rectus abdominal; EO, external oblique; TS, thoracic of erector spinae; LS, lumbar of erector spinae p < 0.05, p < 0.01

### Table

Table 1. Grading of the functional assessment on the test-balance board (Modification based on Pernot's study)

Score	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	
0	The subject cannot lean forward, loses balance.	The subject cannot lean backward, loses balance	The subject cannot sit with the arms abducted.	The subject cannot lift the medicine ball.	
1	The subject can lean some degrees out of center of gravity, but lose balance before 30°.	The subject can lean some degrees out of center of gravity. He compensates with the head and increases his kyphotic position of the upper spine.	The subject only uses the arms when trying to rotate.	The subject can lift the medicine ball, but cannot hold it with both hands, nor lift it over the head.	
2	The subject can lean forward and come up with using the head and upper part of the trunk from 30°.	The subject can lean backwards to 10°, but cannot maintain this position.	The subject rotates the upper body, but one side is better than the other, or lumbar spine is not following in the rotation.	The athlete leans on the medicine ball when putting it down.	
3	The subject straightens up normal and can lean forward up to 30°	The subject straightens up normal and can lean backward up to 10°.	Normal trunk rotation.	Normal function.	

Table 2. Anthropometric characteristics of participants

Subject	Age (yrs)	Injury level	(In)complete	Height (m)	Weight (kg)	Spasticity	ASIA	Post-injury time (yrs)
A	48	Th10	Complete	1.65	70	N	A	9
В	50	Th11	Complete	1.68	61	Y	A	12
С	55	Th11	Complete	1.68	61	N	A	9
D	57	L1	Incomplete	1.74	63	N	С	11
Е	38	Т9	Complete	1.72	58	Y	A	11
F	37	Т9	Complete	1.70	42	Y	A	11
G	52	L3	Complete	1.73	78	Y	A	19
Н	44	L1-2	Incomplete	1.80	57	Y	В	7

Abbreviations: yrs, years; Th, thoracic; N, no; Y, yes; L, lumbar.

Table 3. Independent variables and dependent variables of study

Independent variables	Dependent variable
Strength of trunk muscles Leisure time physical activity Physical characteristics Activity of trunk muscles	Scores of dynamic sitting balance
Four tests of dynamic sitting balance	Activity of trunk muscles

**Table 4.** The correlations between the Ability of sitting balance and physical characteristics of participants

Physical characteristics	Ability of sitting balance (r	
Trunk flexor strength	.819*	
Trunk extensor strength	.945**	
Trunk right rotator strength	.882**	
Trunk left rotator strength	.945**	
Weight	.317	
Height	.000	
Leisure time physical activity	.951**	
Level	.417	

\**p* < .05, \*\**p* < .01

**Table 5.** The correlations between the Ability of sitting balance and muscle activity of trunk muscles (*r* value)

	URA	ЕО	TS	LS
Test 1	655	408	173	.124
Test 2	504	819 <sup>*</sup>	567	819 <sup>*</sup>
Test 3	655	408	173	.124
Test 4	469	505	365	391

Abbreviations: URA, upper rectus abdominal; EO, external oblique; TS, thoracic of erector spinae; LS, lumbar of erector spinae. p < .05