

Gender Differences in Postural Stability of Individuals with Intellectual Disabilities: A Static Balance Assessment (A Pilot Study)

지적 장애인의 자세 안정성에 대한 성별 차이: 정적 균형 평가(파일럿 연구)

In-Pyo Hong¹, Jia Yoo¹, Bum-Kwon Choi¹, Taewan Kim², Haeryn Jung², Gukhyeon Kim^{2,3}, Sangbum Kim⁴, Ki-Hoon Han⁵, Daekyoo Kim¹

¹Department of Physical Education, Korea University, Seoul, South Korea

²Department of Sports Science, Korea Institute of Sport Science, Seoul, South Korea

³College of Performing Arts & Sport, Hanyang University, Seoul, South Korea

⁴College of Sports Science, Chung-Ang University, Anseong, South Korea

⁵Department of Physical Education, Pusan National University, Busan, South Korea

Received : 28 January 2025

Revised : 19 February 2025

Accepted : 27 February 2025

Objective: This pilot study investigated gender differences in balance control among individuals with ID across different stance and visual conditions to assess their reliance on sensory inputs for stability.

Method: Twelve individuals with ID (7 males, 5 females) underwent static balance assessments using the Pedar Mobile System. Postural stability was evaluated across four conditions: bipedal and single-leg stance with eyes open and closed. Key outcome measures included balance support time, center of pressure (COP) fitted ellipse area, and COP displacement (anteroposterior/mediolateral range) and velocity. A two-way mixed ANOVA was conducted to analyze the effects of gender and stance condition on balance control.

Results: Males exhibited greater postural instability, characterized by shorter balance support time, larger COP area and range, and higher COP velocity, particularly in the single leg stance with eyes closed condition. These findings suggest greater reliance on visual input for balance among males with ID, whereas females demonstrated relatively stable postural control across conditions.

Conclusion: This pilot study underscores the role of sensory integration in balance regulation among individuals with ID, highlighting gender-specific differences in postural stability. The findings suggest that individualized interventions targeting proprioceptive and vestibular function may enhance balance adaptation in this population. Future research should explore sensorimotor training strategies to improve functional mobility and fall prevention in individuals with ID.

Keywords: Intellectual disability, Postural control, Balance stability, Sensory integration

Corresponding Author

Daekyoo Kim

Department of Physical Education, Korea University, Uncho-Useon Education Building #718, Seoul, 02841, South Korea

Email : daekyookim@korea.ac.kr

INTRODUCTION

운동 제어 연구는 행동, 지각, 인지 및 이를 뒷받침하는 신경 생리학적 기전을 포괄적으로 탐구하며(Brauer, Woollacott & Shumway-Cook, 2001; Payne & Isaacs, 2017), 특히 신경계가 효과기(effector) 시스템을 통해 운동 출력을 생성하고 조절하는 과정을 이해하는 것이 핵심적이다(Brauer et al., 2001). Bernstein (1967)은 조절을 "움직이는 유기체의 중복된 자유도를 마스터하는 과정"으로 정의하며, 이는 신체의 조절 능력 뿐만 아니라 다양한 환경에서의 적응적 운동 조직화 과정까지 설명하는 개념으로 활용된다.

운동 제어는 감각-운동 통합(sensory-motor integration)을 통해 이루어지며, 이 과정에서 시각, 전정, 고유감각계가 균형 유지에 핵심적인 역할을 한다(Winter, Patla & Frank, 1990). 시각 정보는 신체의 위치와 움직임을 외부 환경에 상대적으로 인식하도록 하며, 전정계는 중력과 가속도를 감지하여 신체의 공간적 방향을 설정한다. 또한, 고유감각계는 근육과 관절로부터 전달되는 정보를 기반으로 신체의 상대적 위치를 파악하여 적절한 운동 반응을 유도한다(Winter et al., 1990). 이와 같이 다양한 감각 정보의 통합은 균형 유지와 안정적인 자세 조절을 위한 필수 과정이다. 실제로, 균형 조절 능력은 일상적인 기능적 과제 수행뿐만 아니라 예상치 못한 균형 장애를 효과적으로 극복하는 능력과도 밀접하게 관련된다(Woollacott & Shumway-Cook, 2005).

그러나 지적 장애(Intellectual Disability)를 가진 개인은 감각 정보의 수용과 처리 과정에서 어려움을 보이며(Fotiadou, Neofotistou, Giagazoglou & Tsimaras, 2017), 이로 인해 운동 조절과 적응적 행동 수행 능력에 제한이 나타난다(Schalock, 2010). 이러한 특성은 적절한 인지적 전략의 조직화와 적용에 어려움을 초래하며, 결과적으로 인지적 및 신경학적 시스템 발달의 지연 가능성을 시사한다.

균형은 무게를 지탱하는 자세를 유지하고 움직임 중 넘어지지 않는 능력으로, 대부분의 운동 활동에서 필수적인 요소이다(Burton & Davis, 1992). 균형은 정적 균형과 동적 균형으로 구분되며, 정적 균형은 고정된 자세를 유지하는 능력, 동적 균형은 움직임 중의 자세 조절 능력을 의미한다. 정적 균형이 부족한 아이들은 정상적인 기능적 활동을 수행하는데 필요한 안정화 프레임워크가 부족하며, 이는 운동 조절과 발달에도 영향을 미친다(Mitsiou et al., 2016). 특히 지적 장애 아동의 일부는 ADHD를 동반하는 경우가 많아(Kadesjö & Gillberg, 1998), 정적 균형 평가는 운동 조절 능력을 평가하는 적절한 방법으로 간주된다.

지적 장애 아동의 균형 능력과 관련된 선행연구들은 일관되지 않은 결과를 보고하고 있다. 예를 들어, Fotiadou 등 (2017)은 지적 장애 아동이 눈을 감은 상태에서 정상 아동보다 균

형 유지에 어려움을 보인다고 보고하였지만, Geuze (2003)는 눈을 뜨거나 감은 상태 모두에서 두 다리로서 있을 때 두 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다고 주장하였다. Przysucha와 Taylor (2004) 또한 지적 장애 아동의 균형 조절 능력이 정상 아동보다 열악하다고 보고하였으나, 시각 정보의 유무에 따른 큰 차이는 없다고 하였다. 반면, Hoare와 Mann (1994)은 지적 장애 아동이 시각 정보에 크게 의존한다고 주장한 반면, Wright와 Sugden (1996)은 이러한 시각 의존성이 두드러지지 않는다고 밝혔다. 이러한 상반된 연구 결과는 지적 장애 아동 내에서도 운동 장애의 이질적인 양상이 존재하며, 일부 아동은 수동적 기술이 부족하더라도 균형 능력이 우수하거나 반대의 경우도 있을 수 있음을 시사한다(Macnab, Miller & Polatajko, 2001).

한편, 대부분의 선행연구는 지적 장애 아동을 대상으로 이루어졌으며, 지적 장애를 가진 청소년 및 성인을 대상으로 정적 균형 능력의 발달적 변화와 성별 간 차이를 분석한 연구는 제한적이다(Geuze, 2003; Przysucha & Taylor, 2004). 성인을 대상으로 한 연구 역시 일부 진행되었으나, 대부분은 균형 능력 저하와 관련된 요인을 탐구하거나 특정 운동 경험이 균형 능력에 미치는 영향을 분석하는 수준에 머물렀다(Bibro, Wódka, Smoła & Jankowicz-Szymańska, 2023; Pineda, Krampe, Vanlandewijck & Van Biesen, 2023). 예를 들어, Pineda 등 (2023)은 성인 지적 장애인을 대상으로 정적 자세에서의 균형 능력을 분석한 결과, 시각 정보 제한 및 불안정한 지지면에서 중심압력 속도가 증가하고, 균형 유지 전략이 단순화되는 경향을 보였다고 보고하였다. 하지만 이 연구는 다른 집단 간의 직접 비교는 포함하지 않았다는 한계를 지적하였다.

따라서 본 연구는 지적 장애를 가진 청소년 및 성인을 대상으로 성별에 따른 정적 균형 능력의 차이를 분석하고, 성인기에 접어들면서 나타나는 균형 능력의 변화와 관련된 요인을 탐구하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 지적 장애인의 균형 능력 향상을 위한 기초 자료를 제공하고, 추후 맞춤형 운동 중재 프로그램 개발에 기여하고자 한다.

METHODS

1. 연구 대상

본 파일럿 연구의 참여자는 서울특별시 Y구에서 특수체육 수업을 수강하는 지적 장애인 12명(남: 7, 여: 5)으로 구성되었다(Table 1). 연구 대상자는 정서적 또는 행동적 문제, 명백한 신경학적 장애가 없으며, 지능지수(IQ) 70 이상의 청소년 및 성인으로 선정하였다. 연구 시작 전, 참여자 및 법적 보호자에게 연구 목적과 절차를 충분히 설명하였으며, 자발적 참여를 원칙으로 서면 동의를 확보하였다. 본 연구는 K대학교 기

관생명윤리위원회(2023-0337-02)의 승인을 받았으며, 동의서를 제출한 참여자를 대상으로 특수체육 수업시간을 활용하여 실험을 진행하였다.

Table 1. Anthropometric information

	Subjects (N=12)	
	Male (N=7)	Female (N=5)
Age (yrs)	25.29 (4.11)	24.20 (7.33)
Height (m)	1.69 (0.09)	1.58 (0.09)
Weight (kg)	63.63 (19.52)	52.48 (9.40)
BMI (kg/m ²)	21.92 (5.86)	20.85 (2.42)

2. 연구 장비

정적 균형 평가는 Pedar Mobile System (Novel GmbH, Munich, Germany)을 이용하여 수행되었다(Figure 1). 이 시스템은 좌우 발에 각각 99개의 정전식 압력 센서를 균등하게 배치한 얇고 유연한 인솔(insole)로 구성되며, 100 Hz의 샘플링 속도로 압력 데이터를 연속적으로 기록한다. 센서 배열은 고해상도 데이터를 제공하며, 15-1,200 kPa 범위의 압력 분포를 정밀하게 측정할 수 있도록 설계되었다. Pedar 시스템은 정적 및 동적 하중 실험에서 높은 정확성과 반복성을 보이며, 체중 분포 측정에서도 우수한 동시 타당성이 입증되었다(Hurkmans et al., 2006). 또한, 신뢰도가 높은 평가 도구로서 균형 조절의 대칭성을 정밀하게 분석할 수 있는 것으로 보고되었다(Barnett, Cunningham & West, 2000; Hsiao, Guan & Weatherly, 2002).



Figure 1. Pedar mobile system

3. 실험 절차 및 데이터 수집

본 연구에서는 정적 균형 평가를 수행하기 전에 피험자의 신체 특성을 측정하였다. 측정 항목은 신장, 체중, 발 길이, 발 너비(좌우)이며, 피험자들은 맨발에 양말을 신은 상태에서 진행하였다. 발 길이와 발 너비는 인솔 위에 정확히 위치할 수 있도록 피험자별로 측정하였으며, 신장과 체중은 연구 참여자의 기초 신체 정보를 기록하기 위해 조사하였다. 균형 평가는 인솔 위에서 수행되었으며, 피험자들은 양팔을 X자 모양으로 어깨 위에 교차시키고 발을 어깨너비로 벌린 자세를 유지하도록 하였다(Sackley & Baguley, 1993; Wolff et al., 1998).

한발 서기 균형 평가는 피험자의 우세한 발을 기준으로 두 번씩 진행되었다. 우세한 발은 공을 세 번 차도록 요청하여 결정하였으며(Hopper, Allison, Fernandes, O'Sullivan & Wharton, 1998), 이는 공을 차는 동작을 통해 자연스럽게 주로 사용하는 다리를 식별할 수 있는 신뢰성 있는 방법으로 알려져 있다. 또한, 피험자가 균형을 잃을 경우 즉각적인 도움을 제공할 수 있도록 보조원이 뒤에서 대기하였다. 실험 전, 피험자들은 신발을 신은 상태에서 예행 연습을 통해 실험 환경에 적응하고 동작 수행 가능 여부를 확인하였다.

균형 평가는 눈을 뜬 상태와 감은 상태에서 각각 수행되었다. 눈을 뜨고 정적 균형 평가를 수행할 때, 피험자들은 눈높이에서 2 m 떨어진 검은색 타겟을 응시하도록 하였다. 눈을 감고 한쪽 발로 서는 평가에서는 눈을 뜬 상태에서 시작하여 균형이 잡혔다고 느낄 때 "예"라고 말한 후 눈을 감고 측정을 진행하였다. 측정 중 피험자가 눈을 뜨거나 감지 못하는 경우 즉시 평가를 중단하고 30초간 휴식 후 재측정을 시행하였다.

총 네 가지 균형 유지 동작을 평가하였으며, 각 동작별 측정 횟수는 다음과 같다: (1) 눈뜨고 양발 서기 1회, (2) 눈감고 양발 서기 1회, (3) 눈뜨고 한발 서기 2회, (4) 눈감고 한발 서기 2회. 각 동작에서 10초 이상 균형을 유지하면 해당 실험을 종료하였다. 발이 땅에 닿거나 손이 어깨에서 떨어질 경우 균형을 잃은 것으로 간주하여 즉시 측정을 종료하였으며, 이 경우 10초를 채우지 못한 데이터도 분석에 포함하였다. 또한, 모든 피험자에게 표준화된 방식으로 격려의 말을 전달하였다. 본 연구의 정적 균형 평가 절차는 기존 연구에서 표준 프로토콜로 사용된 바 있다(Geuze, 2003; Sackley & Baguley, 1993; Wolff et al., 1998).

4. 데이터 처리

수집된 데이터는 무선 송신 박스를 통해 전송된 후, Pedar-X® 소프트웨어가 설치된 노트북으로 전달되어 전처리 및 분석에 활용되었다. 신호 내 고주파 잡음을 제거하기 위해

40 Hz 저역 필터(low-pass filter)를 적용하였으며, 데이터 평활화(data smoothing)를 위해 5포인트 이동평균법(moving average)을 사용하였다(Hurkmans et al., 2006). 이상값 처리는 평균값에서 ± 3 표준편차(SD)를 초과하는 데이터를 선형 보간법(linear interpolation)으로 보정하였다. 초기 센서 값의 오류는 데이터 수집 초기 1초 동안의 평균 압력을 기준값으로 설정한 후, 이를 모든 데이터에서 차감하여 교정하였다. 모든 센서 데이터는 실험 시작 신호(trigger)를 기준으로 시간 동기화를 수행하였다.

5. 데이터 분석

본 연구에서는 네 가지 실험 조건에서 측정된 압력중심(COP)의 시계열 데이터를 Python의 Pandas와 Numpy 라이브러리를 활용하여 분석하였다. 주요 분석 변수는 자세 지지 시간과 COP의 Fitted Ellipse 면적이다(Figure 2). Fitted Ellipse는 자세 흔들림(Sway)의 공간적 분포를 정량화하고 자세 안정성(Postural Stability)을 평가하는 신뢰할 수 있는 측정 지표로, 임상 및 연구적으로 검증된 방법이다(Charkhkar, Christie & Triolo, 2020). 본 연구에서는 이를 활용하여 각 조건에서의 자세 안정성 변화를 체계적으로 분석하였다.

COP의 Fitted Ellipse 면적은 x-좌표와 y-좌표 데이터를 전처리하여 노이즈를 제거한 후, 평균값을 이용해 타원의 중심을 정의하고, 공분산 행렬(Covariance Matrix)을 생성하여 데이터 분포를 나타냈다. 이후, 공분산 행렬의 고유값(Eigenvalues)을 이용해 타원의 장축과 단축을 계산하고, 이를 바탕으로 면적을 산출하였다. 또한, 95% 신뢰구간(Confidence Ellipse)을 적용하여 분석의 통계적 신뢰성을 확보하였다. 이러한 과정은 자세 흔들림의 분포와 안정성을 정량화하는 데

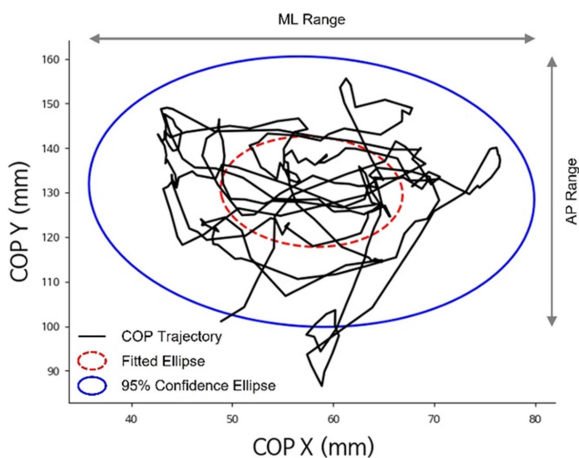


Figure 2. COP fitted ellipse area within the 95% confidence interval

활용된다(Schubert & Kirchner, 2014).

특히, 본 연구에서는 네 가지 실험 조건 모두에서 우세발(오른발)에 대한 COP 데이터를 분석하여 조건 간 비교 시 동일한 기준점을 유지하였다. 양발 서기 시에도 우세발 COP를 기준으로 분석하였으며, 이를 통해 동작 조건에 따른 COP 패턴 변화를 일관되게 평가할 수 있도록 하였다.

6. 통계 분석

모든 통계 분석은 Python 3.13.0 (Python Software Foundation)을 사용하여 수행되었다. 대상자의 신체적 특성은 평균과 표준편차를 이용한 기술통계로 제시하였다. 균형 유지 동작 조건(눈뜨고 양발/눈감고 양발/눈뜨고 한발/눈감고 한발 서기)과 성별(남성/여성)이 지지 시간 및 COP의 Fitted Ellipse 면적에 미치는 영향을 평가하기 위해 두 가지 양방향 분산 분석(two-way ANOVA)을 실시하였다. 효과 크기는 부분 eta 제곱(η_p^2)으로 보고하였으며, 효과 크기의 해석 기준은 작은 효과(0.01), 중간 효과(0.06), 큰 효과(0.14)로 설정하였다. 통계적으로 유의한 차이가 나타난 경우, 특정 그룹 간 차이를 확인하기 위해 Tukey의 정직하게 유의미한 차이(HSD) 사후 검정을 수행하였다. 모든 검정에서 통계적 유의성 수준은 $\alpha < 0.05$ 로 설정하였다.

RESULTS

1. 자세 지지 시간(Balance Support Time)

자세 조건과 성별 간의 상호작용 효과가 통계적으로 유의하였다($F(3, 40) = 3.02, p < .05, \eta_p^2 = .18$; Table 2). 사후 분석 결과(Figure 3), 자세 지지 시간은 DLS-EO = DLS-EC > SLS-EO > SLS-EC 순으로 감소하였으며, SLS-EO와 SLS-EC 조건 간 차이는 유의하지 않았다. 또한, SLS-EC 조건에서 남성 그룹의 자세 지지 시간이 여성 그룹보다 유의하게 짧았다($p < .05$).

2. COP 면적(COP Fitted Ellipse Area)

자세 조건과 성별 간의 상호작용 효과는 통계적으로 유의하지 않았다($F(3, 40) = 2.56, p = .07, \eta_p^2 = .16$; Table 2). 그러나 자세 조건의 주효과는 유의하였으며($F(3, 40) = 47.41, p < .01, \eta_p^2 = .78$), COP 면적은 DLS-EC > DLS-EO > SLS-EO > SLS-EC 순으로 감소하였다($p < .01$). 성별의 주효과 또한 유의하였다($F(1, 40) = 5.77, p < .02, \eta_p^2 = .13$). SLS-EC 조건에서 남성 그룹의 COP 면적이 여성 그룹보다 유의하게 컸다($p < .01$; Figure 3).

Table 2. Static balance control outcomes (Descriptive Statistics) by postural condition and sex

	Sex	Postural condition				p value		
		DLS-EO	DLS-EC	SLS-EO	SLS-EC	p_{posture}	p_{sex}	$p_{\text{interaction}}$
Balance support time (s)	M	10.00 (0.00)	10.00 (0.00)	7.75 (2.92)	1.91 (0.67)	<0.01**	0.04*	0.04*
	F	10.00 (0.00)	10.00 (0.00)	5.71 (3.91)	3.61 (2.52)			
COP fitted ellipse area (mm ²)	M	48.85 (54.70)	39.63 (32.58)	1574.08 (902.08)	3238.84 (2202.05)	<0.01**	0.02*	0.07
	F	68.74 (45.30)	64.85 (81.33)	1570.17 (798.91)	1586.34 (757.51)			
COP anteroposterior range (mm)	M	25.43 (12.73)	29.29 (20.15)	52.94 (18.03)	91.80 (42.01)	<0.01**	0.33	0.04*
	F	29.40 (10.89)	33.11 (19.70)	60.25 (17.77)	48.90 (16.19)			
COP mediolateral range (mm)	M	3.28 (1.20)	2.95 (1.13)	29.44 (7.47)	30.41 (9.07)	<0.01**	0.58	0.88
	F	2.89 (1.18)	3.53 (1.47)	29.37 (7.78)	27.89 (5.45)			
COP resultant velocity (mm/s)	M	27.53 (6.54)	33.36 (10.35)	79.13 (21.11)	149.68 (46.63)	<0.01**	0.01*	0.028*
	F	31.11 (9.80)	29.68 (6.78)	80.93 (37.11)	86.95 (29.09)			
COP anteroposterior velocity (mm/s)	M	26.16 (6.37)	31.93 (9.93)	59.58 (20.59)	138.02 (48.47)	<0.01**	0.01*	0.01*
	F	29.57 (9.71)	28.09 (6.84)	66.34 (35.02)	66.91 (22.27)			
COP mediolateral velocity (mm/s)	M	5.85 (1.72)	6.09 (2.30)	41.30 (12.35)	39.16 (10.51)	<0.01**	0.74	0.70
	F	6.43 (1.86)	6.07 (0.78)	34.64 (11.35)	40.10 (16.44)			

* $p < .05$; ** $p < .01$

DLS-EO: Double Leg Stance with Eyes Open; DLS-EC: Double Leg Stance with Eyes Closed; SLS-EO: Single Leg Stance with Eyes Open; SLS-EC: Single Leg Stance with Eyes Closed; M: Male; F: Female

3. COP 범위(COP Range)

자세 조건과 성별 간의 상호작용 효과가 유의하였다($F(3, 40) = 3.02, p < .05, \eta_p^2 = .18$). 사후 분석 결과, SLS-EO 조건에서는 남성 그룹의 COP 전후 범위(COP Anteroposterior Range)가 여성 그룹보다 유의하게 작았으며($p < .01$), SLS-EC 조건에서는 반대로 남성 그룹이 여성 그룹보다 유의하게 컸다($p < .01$).

자세 조건과 성별 간의 상호작용 효과는 유의하지 않았다($F(3, 40) = 0.25, p > .05, \eta_p^2 = .02$). 그러나 자세 조건의 주효과는 유의하였으며($F(3, 40) = 38.98, p < .01, \eta_p^2 = .75$), SLS-EC 조건에서 COP 좌우 범위(COP Mediolateral Range)가 가장 작았으며, DLS-EC 및 DLS-EO 조건에서는 상대적으로 넓은 COP 좌우 범위가 나타났다($p < .01$). SLS-EC 조건에서 남성 그룹의 COP 좌우 범위가 여성 그룹보다 유의하게 넓었다($p < .05$). 그러나 다른 조건에서는 성별 간 차이가 유의하지 않았다.

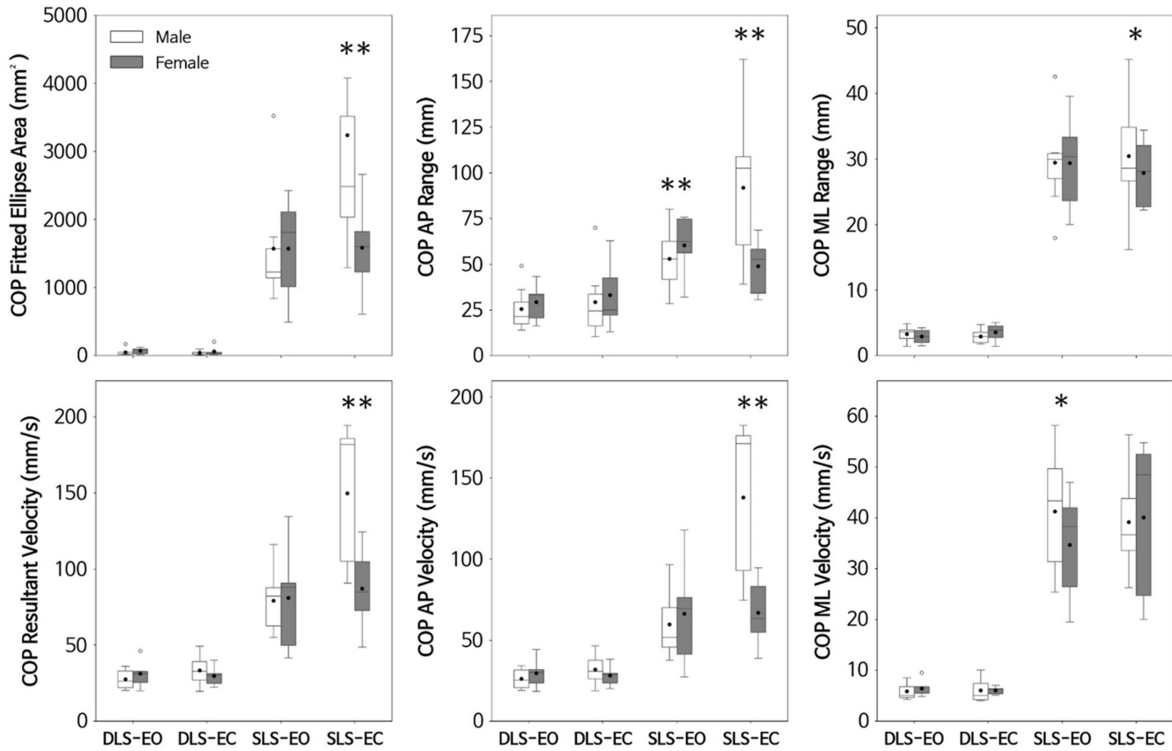


Figure 3. Static balance control outcomes (COP Parameters) by postural condition and sex

4. COP 속도(COP Velocity)

COP 합성 속도(COP resultant velocity) 및 COP 전후 속도(COP anteroposterior velocity)에 대한 자세 조건과 성별 간의 상호작용 효과가 유의하였다($F(3, 40) = 3.37, p < .05, \eta_p^2 = .20$; Table 2 & Figure 3). 사후 분석 결과, SLS-EO 조건에서는 남녀 그룹 간 유의한 차이가 없었으나, SLS-EC 조건에서는 남성 그룹이 여성 그룹보다 COP 합성 속도 및 COP 전후 속도가 유의하게 높았다($p < .01$). COP 좌우 속도(COP mediolateral velocity)에 대해서는 자세 조건의 주효과가 유의하였다($F(3, 40) = 39.18, p < .01, \eta_p^2 = .75$). SLS-EC 조건에서는 성별 간 차이가 나타나지 않았으나, SLS-EO 조건에서는 남성 그룹의 COP 좌우 속도가 여성 그룹보다 유의하게 높았다($p < .01$).

DISCUSSION

본 파일럿 연구는 지적 장애를 가진 청소년 및 성인을 대상으로 자세 조건(DLS-EO, DLS-EC, SLS-EO & SLS-EC)과 성별이 균형 조절 능력에 미치는 영향을 분석하였다. 연구 결과, 한발 서기 중 시각 정보가 차단된 상태(SLS-EC)에서 남성 그룹이 여성 그룹보다 균형 유지 시간이 짧고, COP 변동성이

증가하며, COP 속도가 더 빠른 패턴을 보였다. 이는 성별에 따른 감각 정보 처리 방식이 균형 조절 전략에 영향을 미칠 가능성을 시사하며, 특히 시각 정보의 제거가 남성 그룹의 균형 조절에 보다 부정적인 영향을 미친다는 점을 보여준다. 이러한 결과는 지적 장애를 가진 남성이 감각 통합 과정에서 더 큰 불안정성을 경험할 가능성이 있으며, 이에 따라 균형 조절 전략에서 보다 높은 보상 행동(compensatory strategies)을 보일 수 있음을 시사한다.

기존 연구들(Geuze, 2003; Przyucha & Taylor, 2004)은 지적 장애 아동과 비장애 아동 간 성별에 따른 균형 능력 차이가 크지 않다고 보고했다. 그러나 본 연구에서는 보다 정교한 실험 설계를 적용하여 성별 차이를 보다 명확히 구별할 수 있었다. 특히, 지적 장애 남성 그룹에서 시각 정보 차단 시 균형 조절이 급격히 악화되는 경향을 보였으며, 이는 지적 장애 집단 내에서도 균형 조절 능력과 감각 통합 전략이 개별적으로 차이를 나타낼 가능성이 높음을 시사한다. 이는 성별뿐만 아니라, 지적 장애의 정도 및 개인의 감각 처리 방식과 같은 신경발달적 요소를 고려해야 함을 의미한다.

균형 유지 시간(Balance Support Time)은 균형 조절의 가장 직접적인 척도로, 본 연구에서 남성 그룹은 SLS-EC 조건에서 균형 유지 시간이 유의미하게 짧았다. 이는 남성 그룹이 시각

정보 없이 균형을 유지하는 데 어려움을 겪을 가능성을 시사하며, 감각 피드백 통합의 비효율성이 이러한 차이를 유발했을 가능성이 높다(Nashner, Shumway-Cook & Marin, 1983). 일반적으로 시각 정보가 차단되면, 균형 유지에는 고유 수용성(proprioception) 및 전정(vestibular) 정보가 더 큰 역할을 하게 된다. 그러나 본 연구에서 남성 그룹의 균형 유지 시간이 크게 감소한 것은, 고유 수용성 및 전정 감각의 대체 활용 능력이 부족하거나, 균형 조절 전략이 비효율적으로 작용했음을 의미할 수 있다. 반면, 여성 그룹은 같은 조건에서도 상대적으로 균형 유지 시간이 유지되었으며, 이는 시각 정보의 부재 시 감각 정보 통합 과정에서 보다 안정적인 전략을 사용할 가능성이 있음을 시사한다. 다만, 본 연구의 참여자가 제한적이므로, 이러한 차이가 성별에 따른 감각 피드백 활용의 차이를 반영하는지 여부는 추가 연구를 통해 검증이 필요하다. 또한, 운동 경험의 차이가 균형 유지 능력에 영향을 미칠 가능성도 고려할 수 있으나, 이를 일반화하기 위해서는 보다 다양한 표본을 포함한 후속 연구가 요구된다.

본 연구에서 COP 면적(COP Fitted Ellipse Area)은 DLS-EC > DLS-EO > SLS-EO > SLS-EC 순으로 감소하는 경향을 보였으며, 이는 시각 정보 및 지지면 크기가 균형 조절에 중요한 영향을 미친다는 점을 시사한다(Hasan & Norman, 1990). 특히, 남성 그룹은 SLS-EC 조건에서 COP 변동성이 유의하게 증가하였으며, 이는 감각 정보 차단 시 남성 그룹의 균형 조절 전략이 보다 불안정하게 작용했음을 반영한다. 이러한 결과는 두 가지 가능성을 제기한다. 첫째, 남성 그룹이 시각 피드백 제거 후 균형을 유지하기 위해 보다 적극적인 체중 이동 전략을 채택했을 가능성이 있다. 이는 COP 변동성이 증가한 원인이 될 수 있으며, 불안정한 균형 조절을 보완하기 위해 과도한 체중 이동이 발생했을 수 있다. 둘째, 남성 그룹이 전정 및 고유 수용성 정보를 활용하는 능력이 상대적으로 낮아, 시각 피드백 없이 균형을 유지하는 과정에서 보다 높은 수준의 자세 변동성이 나타났을 가능성이 있다. 이는 기존 연구(Inder & Sullivan, 2005)의 결과와 일치하며, 지적 장애를 가진 개인의 감각 피드백 통합 전략이 상이하게 나타날 가능성을 보여준다.

COP 속도(COP Velocity)는 균형 조절 과정에서 체중 이동의 속도를 반영하는 중요한 변수이며, 본 연구에서 남성 그룹이 SLS-EC 조건에서 유의미하게 더 높은 COP 속도를 보였다. 특히, COP 합성 속도(Resultant Velocity)와 COP 전후 속도(Anteroposterior Velocity)에서 남성 그룹이 빠른 속도를 나타낸 것은, 남성 그룹이 시각 정보 없이 균형을 유지하는 과정에서 보다 급격한 체중 이동을 보였음을 시사한다. 이러한 결과는 균형 조절이 불안정할수록 COP 속도가 증가한다는 기존 연구(Hasan & Norman, 1990; Kim & Gill, 2020)의 결과와 일치한다. 즉, 남성 그룹에서 빠른 COP 속도는 감각 피드백이

부족한 상태에서 보다 급격한 균형 조절 반응을 보였음을 의미하며, 이는 안정적인 균형 조절 전략을 유지하지 못했음을 시사한다. 또한, COP 좌우 속도(Mediolateral Velocity)에서도 남성 그룹이 시각 정보 차단 시 유의미하게 더 빠른 체중 이동을 보였다. 이는 좌우 균형 조절에서 남성 그룹이 보다 적극적인 조절 전략을 채택했을 가능성이 있으며, 불안정성을 보완하기 위한 보상 전략이 과도하게 작용했을 수 있음을 시사한다.

본 연구는 지적 장애를 가진 청소년 및 성인을 대상으로 균형 조절 전략을 성별과 자세 조건에 따라 분석하였으며, 기존 연구들과 차별화된 결과를 도출하였다. 그러나 몇 가지 한계를 내포하고 있다. 첫째, 실험 환경의 제한성이다. 본 연구는 정적 균형 조절만을 평가하였으며, 동적 환경에서의 균형 조절 특성을 반영하지 못했다. 향후 연구에서는 보행 및 동적 균형 조절 과제를 포함하여 보다 실제적인 균형 유지 전략을 평가할 필요가 있다. 둘째, 신경근육 조절 메커니즘 분석의 부재이다. 본 연구는 COP 변동성과 속도를 활용하여 균형 조절을 분석하였으나, 신경근육 활성화도(EMG)를 포함하지 않았다. 향후 연구에서는 근전도 신호를 분석하여 균형 조절 과정에서의 근육 활성 패턴을 규명할 필요가 있다. 셋째, 양발 서기 시 COP 분석 방법의 한계이다. 본 연구에서는 네 가지 자세 조건 간 비교의 일관성을 위해 우세발 COP만을 분석하였으나, 이로 인해 양발 간의 협력적 균형 전략을 충분히 반영하지 못했을 가능성이 있다. 향후 연구에서는 양발 COP를 함께 분석하여 보다 포괄적인 균형 조절 전략을 평가할 필요가 있다. 넷째, 표본 크기 및 개별 차이 분석의 부족이다. 지적 장애 집단 내에서도 감각 정보 처리 및 균형 조절 전략은 개인차가 클 가능성이 있으며, 보다 정밀한 하위 집단 분석이 필요하다.

CONCLUSION

본 파일럿 연구에서는 지적 장애를 가진 청소년 및 성인의 균형 조절 전략을 성별과 자세 조건에 따라 분석하였다. 그 결과, 시각 정보가 제거된 상태에서 남성 그룹이 여성 그룹보다 균형 유지에서 더 큰 변동성을 보이는 경향이 확인되었다. 이러한 결과는 특정 조건에서 성별 간 균형 조절 특성이 다르게 나타날 가능성을 시사하지만, 본 연구는 제한된 표본 크기를 갖고 있어 해석에 신중을 기할 필요가 있다. 본 연구의 결과는 지적 장애인을 대상으로 한 균형 조절 연구의 기초 자료로 활용될 수 있으며, 향후 연구에서는 보다 다양한 모집단을 포함한 대규모 연구를 통해 결과의 일반화 가능성을 검토해야 한다. 또한, 동적 균형 조절 평가, 신경근육 활성화도 분석, 그리고 균형 훈련 프로그램 개발과 같은 추가적인 연구를 통해 지적 장애인의 균형 조절 메커니즘을 보다 정교

하게 규명할 필요가 있다. 이를 통해 균형 조절의 기전 이해를 더욱 심화하고, 효과적인 균형 훈련 및 재활 전략 수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by the 2023 Research Fund of the College of Education, Korea University.

REFERENCES

- Barnett, S., Cunningham, J. L. & West, S. (2000). A comparison of vertical force and temporal parameters produced by an in-shoe pressure measuring system and a force platform. *Clinical Biomechanics*, 15(10), 781-785.
- Bernstein, N. (1967). The coordination and regulation of movements. *Pergamon-Press*, Oxford.
- Bibro, M. A., Wódka, K., Smoła, E. & Jankowicz-Szymańska, A. (2023). The influence of 15-weeks climbing program on the static and dynamic balance of young adults with mild and moderate intellectual disabilities. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 36(3), 529-537.
- Brauer, S. G., Woollacott, M. & Shumway-Cook, A. (2001). The interacting effects of cognitive demand and recovery of postural stability in balance-impaired elderly persons. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(8), M489-M496.
- Burton, A. W. & Davis, W. E. (1992). Assessing balance in adapted physical education: Fundamental concepts and applications. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 9(1), 14-46.
- Charkhkar, H., Christie, B. P. & Triolo, R. J. (2020). Sensory neuroprosthesis improves postural stability during sensory organization test in lower-limb amputees. *Scientific Reports*, 10(1), 6984.
- Fotiadou, E. G., Neofotistou, K. H., Giagazoglou, P. F. & Tsimaras, V. K. (2017). The effect of a psychomotor education program on the static balance of children with intellectual disability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1702-1708.
- Geuze, R. H. (2003). Static balance and developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 22(4-5), 527-548.
- Hasan, H. & Norman, C. (1990). Chaotic orbits in barred galaxies with central mass concentrations. *Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X)*, vol. 361, Sept. 20, 1990, p. 69-77, 361, 69-77.
- Hoare, P. & Mann, H. (1994). Self-esteem and behavioural adjustment in children with epilepsy and children with diabetes. *Journal of Psychosomatic Research*, 38(8), 859-869.
- Hopper, D., Allison, G., Fernandes, N., O'Sullivan, L. & Wharton, A. (1998). Reliability of the peroneal latency in normal ankles. *Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007)*, 350, 159-165.
- Hsiao, H., Guan, J. & Weatherly, M. (2002). Accuracy and precision of two in-shoe pressure measurement systems. *Ergonomics*, 45(8), 537-555.
- Hurkmans, H. L. P., Bussmann, J. B. J., Selles, R. W., Horemans, H. L. D., Benda, E., Stam, H. J. & Verhaar, J. A. N. (2006). Validity of the Pedar Mobile system for vertical force measurement during a seven-hour period. *Journal of Biomechanics*, 39(1), 110-118.
- Inder, J. M. & Sullivan, S. J. (2005). Motor and postural response profiles of four children with developmental coordination disorder. *Pediatric Physical Therapy*, 17(1), 18-29.
- Kadesjö, B. & Gillberg, C. (1998). Attention deficits and clumsiness in Swedish 7-year-old children. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 40(12), 796-804.
- Kim, D. & Gill, S. V. (2020). Changes in center of pressure velocities during obstacle crossing one year after bariatric surgery. *Gait & Posture*, 76, 377-381.
- Macnab, J. J., Miller, L. T. & Polatajko, H. J. (2001). The search for subtypes of DCD: Is cluster analysis the answer?. *Human Movement Science*, 20(1-2), 49-72.
- Mitsiou, M., Giagazoglou, P., Sidiropoulou, M., Kotsikas, G., Tsimaras, V. & Fotiadou, E. (2016). Static balance ability in children with developmental coordination disorder. *European Journal of Physical Education and Sport*, 11(1), 17-23.
- Nashner, L. M., Shumway-Cook, A. & Marin, O. (1983). Stance posture control in select groups of children with cerebral palsy: deficits in sensory organization and muscular coordination. *Experimental Brain Research*, 49(3), 393-409.
- Payne, V. G. & Isaacs, L. D. (2017). *Human motor development: A lifespan approach*. Routledge.
- Pineda, R. C., Krampe, R. T., Vanlandewijck, Y. & Van Biesen, D. (2023). Athletes with intellectual disability: The effects of cognitive deficits and sports practice on bipedal standing balance. *Journal of Applied Research in Intellectual*

- Disabilities*, 36(1), 96-105.
- Przysucha, E. P. & Taylor, M. J. (2004). Control of stance and developmental coordination disorder: The role of visual information. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 21(1), 19-33.
- Sackley, C. M. & Baguley, B. I. (1993). Visual feedback after stroke with the balance performance monitor: two single-case studies. *Clinical Rehabilitation*, 7(3), 189-195.
- Schalock, R. L. (2010). Intellectual disability. *Cross-Cultural Psychology: Contemporary Themes and Perspectives*, 312.
- Schubert, P. & Kirchner, M. (2014). Ellipse area calculations and their applicability in posturography. *Gait & Posture*, 39(1), 518-522.
- Winter, D. A., Patla, A. E. & Frank, J. S. (1990). Assessment of balance control in humans. *Medical Progress Through Technology*, 16(1-2), 31-51.
- Wolff, D. R., Rose, J., Jones, V. K., Bloch, D. A., Oehlert, J. W. & Gamble, J. G. (1998). Postural balance measurements for children and adolescents. *Journal of Orthopaedic Research*, 16(2), 271-275.
- Woollacott, M. H. & Shumway-Cook, A. (2005). Postural dysfunction during standing and walking in children with cerebral palsy: what are the underlying problems and what new therapies might improve balance?. *Neural Plasticity*, 12(2-3), 211-219.
- Wright, H. C. & Sugden, D. A. (1996). The nature of developmental coordination disorder: Inter-and intragroup differences. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 13(4), 357-371.