

Gait Symmetry and Spatiotemporal Gait Parameter Analysis in Patients with Strabismus

Ryun-Young Kim^{1,a}, Hyun Gug Cho^{2,b}, Dong-Sik Yu^{2,c}, Sang-Yeob Kim^{2,d}, Jae-Hyeon Noh^{2,e},
and Byeong-Yeon Moon^{2,f,*}

¹Dept. of Medical Health Science, Graduate School, Kangwon National University, Student, Samcheok 25949, Korea

²Dept. of Optometry, Kangwon National University, Professor, Samcheok 25949, Korea

(Received July 7, 2025; Revised July 31, 2025; Accepted August 4, 2025)

Purpose: The purpose of this study was to identify differences in gait symmetry (Symmetry Index, SI) and major spatiotemporal gait parameters between patients with strabismus and a control group, and to analyze the effects of reduced stereopsis and deviation angle on gait symmetry, thereby evaluating the impact of visual dysfunction on gait efficiency and stability. **Methods:** In total, 40 participants, including 20 patients with strabismus aged 8 to 19 years and 20 age-matched controls, underwent gait analysis. All participants walked barefoot at a comfortable speed over a 4-m walkway using the OptoGait system (Microgate, Italy). Spatiotemporal gait parameters, including step length, single support, and swing phase, and their corresponding symmetry indices (SI) were calculated. The SI represented the relative difference between the left and right lower limbs as a percentage to quantify gait symmetry. **Results:** The strabismus group showed significantly reduced step length and gait speed compared to the control group ($p < 0.05$). The SI values for step length, single support, and swing phase were significantly higher in the strabismus group, indicating greater gait asymmetry ($p < 0.05$). Higher stereopsis thresholds were significantly associated with increased step length SI ($p = 0.002$) and single support SI ($p = 0.025$). No significant correlation was observed between the deviation angle and gait SI. **Conclusions:** Strabismus reduces spatial control and gait symmetry, leading to decreased gait efficiency and stability. Quantitative gait analysis may serve as a valuable tool for functional assessment and rehabilitation planning for patients with strabismus.

Key words: Strabismus, Gait analysis, Gait symmetry, Stereopsis, Visual dysfunction

서 론

정상적인 보행은 시각, 전정, 고유수용성 감각이 통합적으로 작용해 이루어지며, 이 중 시각은 주변 환경 정보를 제공하고 균형을 유지하며 보행 경로를 계획하는 데 핵심적인 역할을 한다.^[1,2] 시각 정보는 지형 변화나 장애물을 인지하고 발 디딤 위치와 걸음 속도를 조절하는 데 활용되며, 양안 시기능을 통해 깊이 지각과 공간적 판단이 가능해진다.^[3] 입체시 기능은 양안에서 얻은 시각 정보를 통합하여 정확한 공간 인지 및 깊이 지각을 가능하게 하며, 이러한 양안 시기능의 손실은 보행과 같은 복합적인 신체 활동에 필수적인 시각-운동 협응(visuomotor coordination)을 저하시킬 수 있다.^[4,5] 특히, 입체시 저하가 보행 시 좌우 하지의 정밀한 협응과 공간적 판단에 부정적 영향을 미치는 신경학적 메커니즘으로는 시각피질(visual cortex)

에서 처리된 깊이 정보가 전두엽(frontal lobe)의 운동피질(primary motor cortex) 및 전운동피질(premotor cortex)로 효율적으로 전달되지 못하는 데 있다. 이 경로는 후두엽에서 두정엽을 거쳐 전두엽으로 이어지는 dorsal visual stream(일명 'where pathway')을 통해 공간 위치 정보와 운동 계획을 통합하는 데 관여하며, 입체시 손상은 이 경로의 기능적 연결성을 약화시켜 운동 계획의 정밀도와 양측 하지 협응에 영향을 미칠 수 있다.^[6-8] 사시나 입체시 저하와 같은 시기능 이상이 있으면 보행 시 안정성과 효율성이 떨어지며, 보폭과 보행 속도가 감소하고 좌우 다리 협응이 불균형해질 수 있다.^[4,9] 이러한 변화는 낙상 위험을 높이고 일상생활에서 이동의 제약으로 이어질 수 있다.

선행 연구에서는 사시 환자에서 보폭 간격 변화, 무릎 및 발목의 추진력 감소, 공간적 보행 지표의 변화 등이 보고되었고, 특히 외사시 환자에서 안구 편위각이 클수록 보행 양

*Corresponding author: Byeong-Yeon Moon, TEL: +82-33-540-3412, E-mail: bymoon@kangwon.ac.kr

Authors ORCID: ^a<https://orcid.org/0009-0009-0899-1017>, ^b<https://orcid.org/0000-0002-8267-3801>, ^c<https://orcid.org/0000-0002-4387-4408>, ^d<https://orcid.org/0000-0001-6806-3305>,

^e<https://orcid.org/0000-0003-2384-9536>, ^f<https://orcid.org/0000-0003-0645-4938>

상에 이상이 두드러지는 경향이 확인되었다.^[10] Odenrick 등^[11]은 사시 아동이 정상 아동에 비해 보폭이 짧고 단일 지지 시간이 감소한다고 보고하였으며, Aprile 등^[10]은 선천성 사시 환자에서 걸음 폭과 추진력의 변화를 관찰하였다. Przekoracka-Krawczyk 등^[12]은 사시 및 약시 환자에서 균형 조절 능력이 저하되고 자세 흔들림이 증가한다고 보고하였다. 보행 분석은 단순히 기능적 평가를 넘어 사시 교정 수술이나 시기능훈련 전후의 보행 변화를 모니터링하는 데도 활용될 수 있으며, 환자의 운동 기능과 시기능 간 상호작용을 이해하고 치료 효과를 객관적으로 평가하는데 기여할 수 있다.

최근 연구들은 사시 교정이나 시기능 향상 프로그램이 단순한 정렬 교정에 그치지 않고 보행 안정성과 효율성 개선으로 이어질 수 있음을 보여주고 있다.^[13,14] 이와 같은 보행 분석은 사시 환자 재활 과정에서 낙상 예방, 이동 기능 향상 등의 임상적 목표를 설정하거나 계획하는 데 중요한 근거로 작용한다. 또한 양안시 기능 저하가 보행의 공간적 조절, 대칭성 유지, 추진력 생성 등에 미치는 영향을 명확히 규명하는 것은 효과적인 평가 및 중재 전략을 설계하는 데 필요하다.

따라서 본 연구는 사시군과 정상군 간 보행 대칭성(symmetry index)과 보행 지표 차이를 규명하고, 입체시 저하 및 안구 편위량이 보행 대칭성과 어떤 관련이 있는지를 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 시기능 이상이 보행의 효율성과 안정성에 미치는 영향을 평가하고, 사시 환자의 임상 진단과 재활, 치료 전략 설계와 적용에 활용될 수 있는 근거 자료를 제공하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구는 기관생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB, 승인번호: KWNUIRB-2024-07-011-001)의 승인을 받아 실시되었다. 연구의 목적에 동의하고, 정상적인 독립보행이 가능한 신체적으로 건강한 8세에서 19세 사이의 대상자 총 40명(남성 21명, 여성 19명)을 모집하였다. 연구 참여자의 평균 연령은 10.38±2.83세였다(Table 1). 대상자는 연구의 목적과 절차에 대해 구두와 서면으로 충분히 설명한 후 동의를 받고 연구를 진행하였다. 대상자 선정 과정에서 공통적으로, 문진을 통해 근-골격계 질환 및 수술 경험, 전신 질환 및 안질환의 과거 병력, 관련 약물 복용 여부, 안구진탕 및 잦은 낙상 경험과 같은 보행에 영향을 미칠 수 있는 요소가 없는지 확인하였다. 추가적으로 정상군(대조군)은 양안 시력이 0.8을 초과하고, 시기능 검사 결과 안위 상태와 융합력이 정상 평균 기대값 이상^[15]

Table 1. Characteristics of the subjects

Characteristics	Control	Strabismus	p-value
Gender (male / female)	20 (14/6)	20 (7/13)	p=0.057
Age (years)	10.35±2.83	10.40±2.91	p=0.956
Height (cm)	129.10±23.82	133.20±22.26	p=0.577
Weight (kg)	36.75±30.57	32.00±15.43	p=0.539
Visual acuity (logMAR)	-0.18±0.82	0.12±0.20	p<0.006*
Spherical equivalent (D)	-1.58±2.28	-	p=0.121
Deviation (Δ) [†]	0.50±0.95	27.25±10.10	p<0.001*
Stereopsis (seconds of arc)	45.75±22.08	175.25±156.84	p=0.001*

Data presented as mean±standard deviation (SD) or frequency (n)
[†]Deviation (Δ) values represent absolute phoria magnitude regardless of direction (esophoria or exophoria)

*p<0.05 indicates statistical significance

p-values for gender were calculated using Chi-square test

p-values for continuous variables were calculated using independent samples t-test

이며, 비사시성 양안시 이상이나 조절기능 이상의 증상이 없는 경우로 선정하였다. 사시군(실험군)은 우세안의 최대 교정시력이 0.3을 초과하며, 안구진탕과 수직사시가 없는 외사시 또는 내사시 환자를 대상으로 하였다.

연구방법

1. 시기능검사

1.1. 교정 굴절력 및 시력 측정

교정 굴절력 및 시력을 측정하기 위해 포롭터(APH-550, Essilor, France)와 5m용 LCD polar (24") chart (CSPOLA600, Essilor, France)를 사용하여 각각 굴절검사를 실시하였으며, 측정된 교정시력은 logMAR 시력으로 환산하였다.

1.2. 교대프리즘가림 검사

대상자 안구 편위의 방향과 크기를 평가하기 위해 교대프리즘가림검사(alternating prism cover test)를 시행하였다. 측정에는 1 Δ에서 45 Δ까지의 값을 포함하는 프리즘바(B-16, Gulden Ophthalmics, USA)를 사용하였다. 검사는 비우세안 앞에 프리즘을 위치시킨 상태에서 5 m 거리의 20/30 크기 단일 시표를 주시하게 하였으며, 차안기를 통해 두 눈을 번갈아 가리면서 안구 복귀 운동이 소실되는 지점의 프리즘 굴절력을 편위각으로 기록하였다.

1.3. 입체시

입체시 검사는 편광안경을 착용한 상태에서 Randot stereotest(Stereo Optical Co., Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 40 cm 거리에서 측정하였다. 검사에는 Titmus circle 시표가 포함되었으며, 20초각(seconds of arc)부터

400초각까지 10단계로 입체시 수준을 구분하였다. 검사는 400초각에서 시작하여 점차 작은 초각으로 진행하였으며, 연속으로 2회 오답 시 마지막으로 정답을 맞힌 초각을 입체시 최종 값으로 기록하였다.

2. 보행 분석

본 연구에서 보행 분석은 OptoGait 시스템(Microgate, Bolzano, Italy)을 이용하여 수행하였다(Fig. 1). OptoGait는 발의 접지 시간 및 위치를 정밀하게 측정하는 적외선 센서 기반의 보행 분석 장치로, 대상자의 보행 중 시공간적 특성을 정량적으로 평가할 수 있다.^[16,17]

측정 과정에서 대상자는 시스템의 보행 측정 구간(길이 4 m)을 편안한 속도로 보행하였으며, 보행 구간 시작과 끝에는 각각 1 m의 추가 이동 구간을 두어 가속과 감속의 영향을 최소화하였다. 모든 대상자는 맨발 상태로 측정하였으며, 안전사고 방지를 위해 보행로 주변에는 안전 매트를 설치하고 보조 연구자가 동반하였다.

본 연구에서는 주요 평가 지표로 보행 대칭성 지수(symmetry index; SI)를 산출하였다. SI는 좌우 하지 보행 변수의 상대적인 차이를 백분율(%)로 나타낸 지수이며, 아래 공식으로 계산하였다. 보행 중 발생하는 좌우 비대칭

을 백분율로 측정하기 위해 이 지수를 사용하였으며, 완벽한 대칭은 0%로 표시되고 값이 증가할수록 비대칭성이 커지는 것을 의미한다.

$$Symmetry\ Index\ (SI, \%) = \left(\frac{|L-R|}{(L+R)/2} \right) \times 100$$

여기에서 L과 R은 각각 좌측과 우측 하지의 보행 변수 값을 나타낸다.^[18,19]

본 연구에서는 보폭(step length), 단일 지지기(single support), 유각기(swing phase) 등 주요 시공간적 보행 변수에 대한 SI를 산출하였으며, 이 지수를 통해 보행의 대칭성을 정량적으로 비교하였다(Table 2).^[20,21]

3. 통계분석

수집된 수집된 데이터는 SPSS for Windows, ver. 23.0를 사용하여 분석하였다.

성별과 같은 범주형 변수의 분포 비교에는 카이제곱 검정을 적용하였으며, 연속형 변수의 군 간 비교에는 독립표본 t-검정을 사용하였다.

편위량 분석에서는 부호에 의한 상쇄 효과를 방지하기 위해 절대값으로 변환한 데이터를 사용하여 독립표본 t-검정을 실시하였다.

보행 대칭성 지수에 대한 군 간 비교는 성별 및 연령을 공변량으로 설정한 공분산분석(ANCOVA)으로 수행하였으며, 편위량과 입체시와 보행 대칭성 지수 간의 관계는 Pearson 상관분석을 통해 평가하였다.



Fig. 1. Experimental setup of the OptoGait system used for gait analysis in this study.

결과 및 고찰

1. 연구 대상자의 일반적 특성

본 연구에는 총 40명의 대상자가 참여하였으며, 사시군과 정상 대조군에 각각 20명씩 배정되었다. 대상자의 평균 연령은 정상군이 10.35±2.83세, 사시군이 10.40±2.91세로 두 집단 간 유사하였으며(p=0.956), 성별 구성 또한 두 군 간 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p=0.057). 이러한 연령 및 성별의 균형은 보행 특성 비교 분석에서

Table 2. Definitions and calculation methods of spatiotemporal gait parameters

Gait parameter	Definition	Unit	Calculation
Step length	Distance between heel contact points of the opposite foot during two consecutive steps	cm	Heel-to-heel distance between alternating foot strikes
Single support time	Duration when only one foot is in contact with the ground during gait	%	% of gait cycle with only one foot on the ground
Swing phase	Duration when the foot is off the ground and swinging forward	%	% of gait cycle with foot in swing
Speed	Average forward velocity of walking	m/s	Total walking distance / total walking time

All gait parameters were measured using the OptoGait system (Microgate, Italy)

두 군 간 신뢰성을 높이는 데 중요한 요인으로 작용하였다고 볼 수 있다.^[18,20]

신체적 특성에서도 키와 체중은 각각 129.10±23.82 cm, 36.75±30.57 kg(정상군)과 133.20±22.26 cm, 32.00±15.43 kg(사시군)으로 나타났으며, 두 집단 간 유의한 차이가 없었다($p=0.577$, $p=0.539$). 키와 체중은 성장기 아동 및 청소년의 보행 특성에 영향을 미칠 수 있는 요인이지만^[22], 본 연구에서는 신체적 특성의 차이가 보행 결과에 영향을 미칠 정도가 아니었으므로 보행 비대칭성의 차이는 다른 원인에 기인할 것으로 판단된다.

반면 시각 기능 지표에서는 두 집단 간에 명확한 차이를 보였다. 교정시력은 logMAR 기준으로 정상군이 -0.18±0.82, 사시군이 0.12±0.20으로 사시군에서 유의하게 낮은 시력을 보였다($p<0.006$). 입체시 역시 정상군(45.75±22.08 초각)에 비해 사시군(175.25±156.84초각)에서 현저히 저하되어 유의한 차이를 보였다($p=0.001$). 또한, 편위량의 경우 절대값 기준으로 정상군이 0.50±0.95△, 사시군은 27.25±10.10 △로 두 집단 간 매우 유의한 차이를 나타냈다($p<0.001$). 사시군은 외사시 환자 11명, 내사시 환자 9명으로 구성되었다.

이러한 결과는 기존의 연구 결과와 일치하며, 사시 환자에서 시각적 기능 저하가 특징적으로 나타나는 것을 재확인하였다.^[23,24] 특히 입체시 저하는 깊이 지각 및 공간적 판단 능력을 저하시켜 보행과 같은 동적 신체 활동에 부정적인 영향을 줄 수 있는 것으로 알려져 있다.^[3,9] 따라서 본 연구에서 확인된 시각 기능의 저하가 보행 비대칭성을 초래했을 가능성이 높으며, 이후의 보행 지표와의 상관관계 분석을 통해 보다 심도 있게 평가할 필요가 있다.^[25]

2. 보행 지표의 집단 간 비교

사시군과 정상군 간의 보행 지표 비교 결과 일부 항목에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 보폭(step length)은 좌측 기준으로 정상군이 49.84±6.04 cm, 사시군이 46.22

±8.42 cm로 나타나 유의한 차이를 보였으며($p=0.028$), 보행 속도(speed) 역시 정상군이 0.964±0.176 m/s, 사시군이 0.843±0.261 m/s로 사시군에서 유의하게 낮았다($p=0.016$) (Table 3). 이러한 결과는 사시군이 정상군에 비해 보폭과 보행 속도가 감소하였음을 보여주며, 시기능 이상이 보행의 공간적 특성에 영향을 미칠 수 있음을 나타낸다.^[25] 시각 기능 저하로 인해 사시군은 공간 지각 능력이 제한되어 정확한 거리 판단과 보행 전략 사용에 어려움을 겪을 수 있으며, 이는 보폭 감소와 보행 속도 저하로 나타나 보행 효율성과 안정성에 부정적 영향을 미칠 가능성이 있다.^[3,9,23]

반면, 단일 지지기(single support)와 유각기(swing phase)는 두 군 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 단일 지지기는 좌측에서 정상군 34.89±2.53%, 사시군 38.02±8.67% ($p=0.136$), 우측에서 정상군 35.41±2.41%, 사시군 35.20±7.79%($p=0.909$)로 나타났으며, 유각기는 좌측에서 정상군 34.90±2.25%, 사시군 34.11±4.56%($p=0.094$), 우측에서 정상군 34.32±2.21%, 사시군 36.58±3.50%($p=0.315$)로 나타났다. 이러한 결과는 보행의 시간적 구성이 시각적 이상으로 인한 영향을 덜 받았거나 두 집단의 하지 근력과 균형 능력이 유사했기 때문일 가능성이 있다.^[22,24]

단일 지지기와 유각기와 같은 시간적 특성은 사시나 입체시 저하가 있더라도 하지 근력과 전반적 보행 리듬이 유지되는 한 일정한 양상을 보일 수 있다는 점을 보여준다. 반면, 시기능 이상은 보폭이나 속도 같은 공간적 특성에 더 민감하게 작용하며, 이러한 변화는 보행의 효율성과 안정성에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구의 결과는 사시 환자에서 보행의 공간적 특성이 시간적 특성보다 시기능 이상에 더 민감하게 영향을 받을 수 있음을 보여준다. 이러한 결과를 종합할 때, 사시 환자의 보행 평가 및 훈련에서는 시각적 공간 지각 능력의 개선과 보행 전략의 효율성 향상에 중점을 둘 필요가 있으며, 향후 시각 기능 향상 프로그램의 효과를 보행 효율성과 안정성 측면에서 평가하는 연구가 요구된다.^[25]

Table 3. Group comparison of raw gait parameters

Variable	Side	Control (N=20)	Strabismus (N=20)	p-value
Step length (cm)	Left	49.84±6.04	46.22±8.42	$p=0.028^*$
	Right	49.49±6.23	45.96±8.81	$p=0.153$
Single support (%)	Left	34.89±2.53	38.02±8.67	$p=0.136$
	Right	35.41±2.41	35.20±7.79	$p=0.909$
Swing phase (%)	Left	34.90±2.25	34.11±4.56	$p=0.094$
	Right	34.32±2.21	36.58±3.50	$p=0.315$
Speed (m/s)	Left	0.964±0.176	0.843±0.261	$p=0.016^*$
	Right	0.957±0.159	0.887±0.265	$p=0.020^*$

Data presented as mean±standard deviation (SD)

* $p < 0.05$ indicates statistical significance (independent samples t-test)

3. 보행 비대칭성 지수(Symmetry Index)의 집단 간 비교

ANCOVA 분석 결과에 따르면, 보폭, 단일 지지기, 유각기에 대한 대칭성 지수는 세 가지 항목 모두에서 사시군이 정상군에 비해 통계적으로 유의하게 높은 값을 보였다 ($p<0.05$)(Table 4). 보폭 SI는 $F=7.19(p=0.011)$, 단일 지지기 SI는 $F=4.64(p=0.038)$, 유각기 SI는 $F=12.04(p=0.001)$ 로 나타났으며, 성별은 공변량으로 설정되었으나 유의한 영향을 미치지 않았다($p>0.05$). Fig. 2에서도 사시군이 정상군에 비해 모든 SI 항목에서 상대적으로 높은 값을 보여, 사시군의 보행에서 좌우 하지 간 비대칭성이 뚜렷하게 증가된 양상이 드러났다.

앞선 보행 지표 비교 결과(Table 3)에서 보폭과 보행 속도는 유의한 차이를 보였으나 단일 지지기와 유각기에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그럼에도 이번 비대칭성 지수 분석에서는 모든 항목의 SI가 유의한 차이를 보이는 이유는, 대칭성 지수(SI)가 좌우 하지 간의 상대적 비

대칭성을 평가하는 지표이기 때문이다. 기존 보행 지표 비교는 절대적 수치를 기준으로 한 집단 평균의 차이를 평가한 반면, SI는 개별 참가자 내에서 좌우 하지의 상대적 차이를 평가하여 좌우 비대칭성을 정량적으로 보여주는 지표이다. 즉, 보행 지표의 시간적 특성에서 절대적인 차이가 나타나지 않더라도, 개인 내 좌우 간의 미세한 불균형은 존재할 수 있으며, 이러한 점은 SI 분석에서 더 민감하게 감지될 수 있다.

이 결과는 사시 환자의 보행이 전반적으로 ‘조심스러운 보행(cautious gait)’의 특성을 보이며, 좌우 다리의 균형 조절이 일관되지 않음을 보여준다. 보폭 SI의 증가는 좌우 발걸음 길이의 차이가 존재함을 의미하며, 사시군이 보행 시 한쪽 다리에 더 의존하거나 균일한 보폭 조절에 어려움을 겪고 있음을 나타낸다. 단일 지지기 SI와 유각기 SI의 증가는 좌우 하지의 체중 지지 시간과 스윙 동작의 지속시간이 비대칭적으로 나타났음을 설명한다. 이러한 점은 시기능 이상이 보행 시작, 체중 부하, 추진 단계 전반에서 미세한 불균형을 유발했을 가능성을 보여준다. 좌우 대칭성의 붕괴는 보행 안정성 저하와도 연관될 수 있다.

앞선 연구들과도 부합하는 결과로, Odenrick 등^[11]은 내사시 아동이 정상 아동에 비해 보폭이 짧고 단일 지지 시간이 감소하는 등 보행이 위축되는 양상을 보인다고 보고하였으며, Aprile 등^[10]은 선천성 사시 환자의 보행에서 정상인보다 보폭이 감소하고 보폭 간격이 사시 유형에 따라 달라짐을 확인하였다. 본 연구의 SI 증가는 이와 같은 보폭 감소와 보행 전략 변화가 양측성 불균형으로도 이어졌음을 정량적으로 뒷받침한다.

따라서, 사시군은 정상군에 비해 보행의 효율적이고 안정된 수행에 어려움을 겪고 있으며, 시각적 기능 저하가 보행의 좌우 협응과 조화에 부정적인 영향을 미쳤다고 볼 수 있다.

Table 4. ANCOVA results for Symmetry Index (SI, %) controlling for gender

Variable (SI, %)	Source	F	p-value
Step length SI	Group	7.19	$p=0.011^*$
	Gender	0.05	$p=0.819$
Single support SI	Group	4.64	$p=0.038^*$
	Gender	0.00	$p=0.952$
Swing phase SI	Group	12.04	$p=0.001^*$
	Gender	0.28	$p=0.599$

Symmetry Index (SI) was calculated as $|L-R|/((L+R)/2) \times 100$. ANCOVA was performed with group (strabismus vs. control) as the fixed factor and gender as a covariate

* indicates statistical significance at $p<0.05$

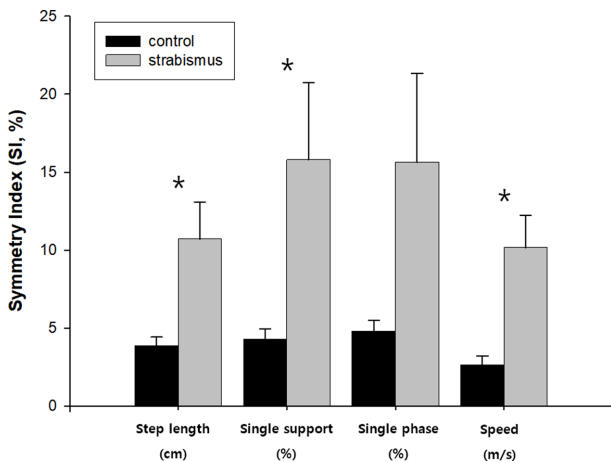


Fig. 2. Comparison of Symmetry Index (SI, %) between control and strabismus groups across four gait parameters.

* $p<0.05$ indicates statistical significance (independent samples t-test)

4. 편위량과 보행 대칭성 지수 간 상관분석

Fig. 3에 제시된 상관분석 결과에 따르면, 편위량(deviation, Δ)과 보행 대칭성 지수 간의 상관성은 보폭 SI, 단일 지지기 SI, 유각기 SI 모두에서 통계적으로 유의하지 않았다. 구체적으로, 편위량과 보폭 SI 간 상관계수는 $r=0.232(p=0.150)$, 단일 지지기 SI는 $r=0.285(p=0.075)$, 유각기 SI는 $r=0.199(p=0.219)$ 로 나타났다. 이러한 결과는 편위량이 클수록 SI가 약간 증가하는 경향은 있지만, 편위량 자체가 보행 비대칭성의 주요 결정 요인으로 작용한다고 단정하기 어렵다는 점을 보여준다.

이러한 경향은 기존 문헌에서도 유사한 양상으로 보고된 바 있다. Aprile 등^[10]은 사시 환자 전체를 분석했을 때 사시각과 보행 지표 간 상관이 뚜렷하지 않았으나, 외사시

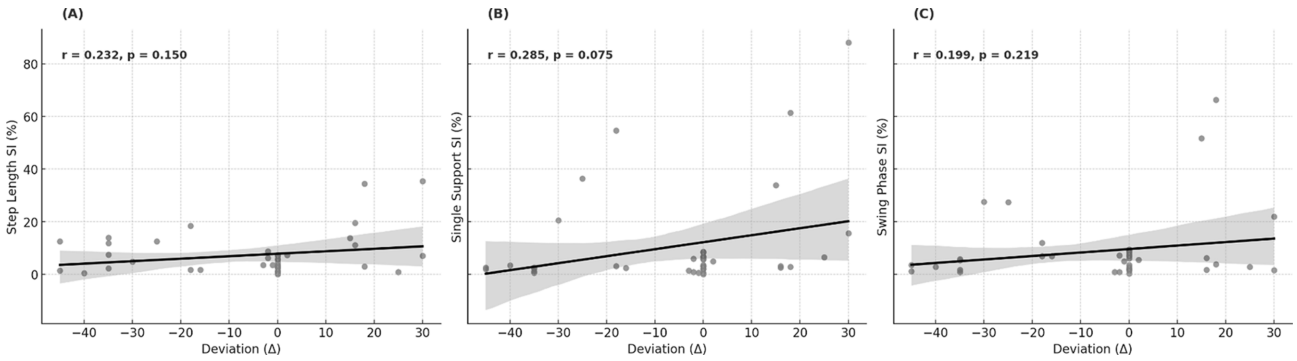


Fig. 3. Correlation between deviation (Δ) and gait asymmetry indices (SI). Weak positive correlations were.

환자군에서는 편위각이 클수록 보폭 간격이 넓어지고 무릎과 발목 관절의 추진력이 감소하는 상관관계가 나타났다고 보고하였다. 반면 내사시 환자군에서는 이러한 경향이 두드러지지 않았다. 본 연구의 결과 역시 편위각보다는 시기능 이상, 특히 양안 시기능 손실(예: 입체시 저하 등)이 보행 비대칭성에 더 큰 영향을 미쳤을 가능성을 시사한다. 따라서 향후 연구에서는 다양한 사시 유형과 보다 넓은 편위각 범위를 포함한 대규모 표본에서 보행과 시기능의 관계를 정량적으로 규명할 필요가 있다.

5. 입체시와 보행 비대칭성 지수 간 상관분석

Fig. 4에 제시된 상관분석 결과에 따르면, 입체시와 보행 비대칭성 지수 간에는 일부 항목에서 통계적으로 유의한 양의 상관관계가 나타났다. 구체적으로 입체시 역치(값이 높을수록 입체시 저하)가 증가할수록 보폭 SI($p=0.002$)와 단일 지지기 SI($p=0.025$)가 유의하게 증가하였으며, 입체시 저하가 심할수록 보행 시 좌우 다리의 보폭과 지지 시간의 불균형이 커진다는 점을 보여준다. 반면, 유각기 SI는 입체시와 유의한 상관성을 보이지 않았다($p=0.214$).

이러한 결과는 깊이 지각 능력 저하가 보행 중 양측 하지 움직임의 협응에 부정적 영향을 미칠 가능성을 보여준다. 입체시 결손은 보행 시 안전하고 일관된 스텝 조절을 어렵게 만들며, 좌우 대칭성 손실로 이어질 위험을 높인다. 선행 연구에서도 유사한 결과가 보고되었으며, Buckley 등¹⁴⁾은 입체시 결손 성인이 장애물 통과 시 발끝 높이를 과도하게 들어 올리고 보행 속도를 감소시키는 등 조심스러운 보행 전략을 취한다고 보고하였다. 이러한 전략은 양측 하지의 사용에 비대칭적 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 입체시 저하와 보행 비대칭성 간의 연관성을 정량적으로 규명하며, 입체시 기능이 보행의 공간적 균형 유지와 안정성에 중요한 역할을 한다는 근거를 제시했다. 향후 연구에서는 다양한 연령대와 사시 유형을 포함한 대규모 표본에서 입체시와 보행 지표 간 관계를 보다 심층적으로 분석할 필요가 있다.

6. 성별 및 연령 보정을 통한 공분산분석

Table 4와 Table 5에 제시된 공분산분석(ANCOVA) 결과에 따르면, 성별과 연령을 공변량으로 통제한 이후에도 보행 비대칭성 지수 항목 모두에서 사시군과 정상군 간의 유

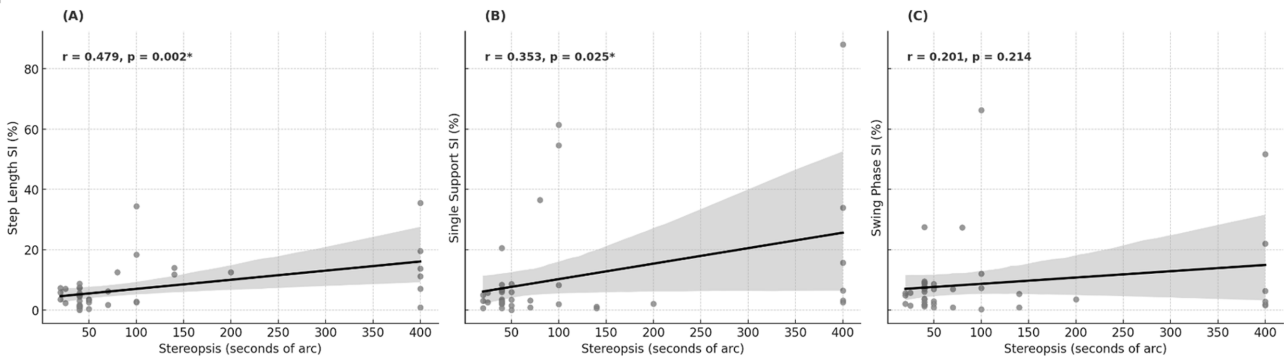


Fig. 4. Correlation between stereopsis and gait asymmetry indices (SI). Significant positive correlations were identified between stereoacuity and (A) step length SI and (B) single support SI ($p=0.025$). No significant correlation was observed in (C) swing phase SI. Linear regression lines with 95% confidence intervals are displayed. * $p<0.05$ indicates statistical significance (Pearson correlation analysis)

Table 5. ANCOVA results for Symmetry Index (SI, %) controlling for age

Variable (SI, %)	Source	F	p-value
Step length SI	Group	8.03	$p=0.007^*$
	Gender	1.29	$p=0.263$
Single support SI	Group	5.73	$p=0.022^*$
	Gender	3.37	$p=0.074$
Swing phase SI	Group	12.20	$p=0.001^*$
	Gender	0.00	$p=0.946$

Symmetry index (SI) was calculated as $|L-R|/((L+R)/2) \times 100$. ANCOVA was performed with group (strabismus vs. control) as the fixed factor and gender as a covariate

* indicates statistical significance at $p < 0.05$

의한 차이가 유지되었다. 성별을 보정한 분석에서는 보폭 SI($F=7.19, p=0.011$), 단일 지지기 SI($F=4.64, p=0.038$), 유각기 SI($F=12.04, p=0.001$) 모두에서 집단 간 차이가 통계적으로 유의했고, 성별의 공변량 효과는 유의하지 않았다 ($p > 0.05$). 연령을 보정한 분석 결과도 유사한 경향을 보였으며, 보폭 SI($F=8.03, p=0.007$), 단일 지지기 SI($F=5.73, p=0.022$), 유각기 SI($F=12.20, p=0.001$) 모두 사시군과 정상군 간 유의한 차이가 나타났고, 연령의 공변량 효과는 통계적으로 유의하지 않았다 ($p > 0.05$).

이러한 분석 결과는 사시군의 보행 비대칭성이 단순히 성별이나 연령의 차이에 기인한 현상이 아님을 보여준다. 시기능 이상이 보행의 대칭성에 독립적인 영향을 주는 요인으로 작용했음을 뒷받침하며, 다양한 연령대와 성별에서 공통적으로 시기능 이상이 보행의 균형과 협응에 부정적 영향을 미친다는 점을 강조한다. Kobayashi 등^[26]의 연구에서도 연령과 성별은 보행 대칭성에 영향을 줄 수 있는 변수로 언급되었지만, 그 효과 크기는 시기능 이상으로 인한 영향에 비해 미미하다고 보고된 바 있다. Odenrick 등^[11]은 사시 아동에서 성별에 따른 자세 동요 차이를 보고했으나, 본 연구에서는 성별과 연령이 보행 대칭성에 유의한 영향을 미치지 않았으며 시기능 이상 여부가 주요 요인으로 확인되었다. 따라서 보행 분석에서 성별·연령을 고려하는 것은 의미가 있으나, 시기능 이상이 보행 대칭성에 미치는 영향이 가장 큰 요인임을 확인하였다. 이 결과는 시기능 이상이 보행 기능 저하의 핵심 기전임을 시사하고, 임상에서는 입체시 회복 훈련과 하지 협응 재훈련을 병행한 복합(multimodal) 중재를 우선적으로 고려할 필요가 있다. 본 연구에서 제안하는 재활 과정은 먼저 이향 프리즘을 착용한 채 원·근거리 표적을 번갈아 주시하도록 하여 양안 융합 범위를 단계적으로 확장하는 프리즘 적응 프로그램으로 시작한다. 이어서 800에서 60 초각까지 난이도를 점진적으로 낮춘 난점 입체시표(random-dot

stereogram)과 10~50 cm 간격으로 구슬을 배치한 brock 스트링을 활용해 감각적 깊이 지각과 동적 초점 전환 능력을 동시에 강화한다. 양안 입체 기능이 안정되면 트레드밀이나 증강현실 기반 장애물 회피 과제를 적용해 실시간 시각 정보를 이용한 하지 동작 계획·수정 과정을 훈련하고, 다음 단계에서 좌우 벨트 속도를 독립적으로 조절할 수 있는 스플릿-벨트 트레드밀로 추진력 대칭을 조정한다. 마지막으로 불규칙 지면과 균형 플랫폼을 결합한 실외 모의 환경에서 보행 연습을 진행해 훈련 효과를 일상 상황에 일반화하도록 한다. 각 단계가 끝날 때마다 보행분석기를 이용해 보행 대칭성 지수·보폭·속도를 측정하고, 동시에 입체시 역치와 편위각을 평가하면 중재 효과를 정량적으로 확인할 수 있다. 이러한 단계적 복합중재 절차는 중재 후 6-12개월 장기 추적 연구 및 임상 지침 마련을 위한 근거 자료로 활용될 전망이다.

결론

본 연구에서는 사시 환자와 정상 대조군 간의 보행 대칭성과 관련된 특성을 정량적으로 분석하고, 시기능 이상이 보행 대칭성에 미치는 영향을 평가하였다. 연구 결과, 사시군은 정상군에 비해 보폭, 보행 속도, 보행 대칭성 지수(SI)에서 유의한 차이를 보였으며, 이러한 차이는 성별과 연령을 보정한 이후에도 유지되었다. 시기능 이상, 특히 입체시 저하는 보행 시 좌우 다리의 협응과 균형에 부정적 영향을 미치는 주요 요인으로 확인되었으며, 편위량은 보행 비대칭성과 직접적인 상관성을 보이지 않았다.

보행 지표 중 공간적 특성인 보폭과 속도는 사시군에서 감소하는 경향을 보였으며, 보행 SI 분석에서는 보폭, 단일 지지기, 유각기 모두에서 사시군이 정상군보다 비대칭성이 뚜렷하게 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 시기능 저하가 단순한 시각적 문제에 그치지 않고 신체의 동적 균형과 협응을 방해하며, 결과적으로 보행의 안정성과 효율성까지 부정적인 영향을 미쳤음을 보여준다. 특히 입체시 저하와 보행 SI 간의 유의한 상관성은 깊이 지각 능력의 저하가 보행의 공간적 조절과 안정성에 큰 영향을 미칠 수 있음을 뒷받침한다.

이와 같은 연구 결과는 사시 환자에 대한 임상적 평가와 재활 접근에서 보행 기능을 포함한 다각도의 기능적 검토가 필요함을 제안한다. 보행 대칭성 지수를 포함한 정량적 보행 분석은 사시 환자의 기능적 상태를 평가하는 유용한 도구가 될 수 있으며, 향후 시기능 개선 프로그램과 보행 훈련의 연계 연구를 통해 시기능과 보행 안정성 간의 인과관계를 보다 명확히 규명할 필요가 있다.

REFERENCES

- [1] Patla AE. Visual control of human locomotion. *Adv Psychol*. 1991;78:55-97. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)60738-4](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)60738-4)
- [2] Hollands MA, Marple-Horvat DE. Coordination of eye and leg movements during visually guided stepping. *J Mot Behav*. 2001;33(2):205-216. DOI: <https://doi.org/10.1080/00222890109603151>
- [3] Read JC. Stereo vision and strabismus. *Eye*. 2015;29(2):214-224. DOI: <https://doi.org/10.1038/eye.2014.279>
- [4] Buckley JG, Panesar GK, MacLellan MJ, et al. Changes to control of adaptive gait in individuals with long-standing reduced stereoacuity. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010;51(5):2487-2495. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.09-3858>
- [5] Buscemi A, Mondelli F, Biagini I, et al. Role of sport vision in performance: systematic review. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2024;9(2):92. DOI: <https://doi.org/10.3390/jfmk9020092>
- [6] Goodale MA, Milner AD. Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci*. 1992;15(1):20-25. DOI: [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)
- [7] Rizzolatti G, Matelli M. Two different streams form the dorsal visual system: anatomy and functions. *Exp Brain Res*. 2003;153(2):146-157. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1588-0>
- [8] Stepniewska I, Kaas JH. The dorsal stream of visual processing and action-specific domains in parietal and frontal cortex in primates. *J Comp Neurol*. 2023;531(18):1897-1908. DOI: <https://doi.org/10.1002/cne.25489>
- [9] Barela JA, Sanches M, Lopes AG, et al. Use of monocular and binocular visual cues for postural control in children. *J Vis*. 2011;11(12):10. DOI: <https://doi.org/10.1167/11.12.10>
- [10] Aprile I, Ferrarin M, Padua L, et al. Walking strategies in subjects with congenital or early onset strabismus. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:484. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00484>
- [11] Odenrick P, Sandstedt P, Lennerstrand G. Postural sway and gait of children with convergent strabismus. *Dev Med Child Neurol*. 1984;26(4):495-499. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1984.tb04477.x>
- [12] Przekoracka-Krawczyk A, Nawrot P, Czaińska M, et al. Impaired body balance control in adults with strabismus. *Vision Res*. 2014;98:35-45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.03.008>
- [13] Di Sipio E, Dickmann A, Aprile I, et al. The impact of strabismus surgery on gait pattern in patients with congenital or starting within one year of age strabismus. *Neurosci Lett*. 2018;670:22-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2018.01.020>
- [14] Legrand A, Quoc EB, Vacher SW, et al. Postural control in children with strabismus: effect of eye surgery. *Neurosci Lett*. 2011;501(2):96-101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.06.056>
- [15] Morgan MW Jr. Analysis of clinical data. *Optom Vis Sci*. 1944;21(12):477-491. DOI: <https://doi.org/10.1097/00006324-194412000-00001>
- [16] Lienhard K, Schneider D, Maffiuletti NA. Validity of the OptoGait photoelectric system for the assessment of spatio-temporal gait parameters. *Med Eng Phys*. 2013;35(4):500-504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2012.06.015>
- [17] Noh JH, Cho HG, Moon BY, et al. Changes of gait patterns after correction of refractive error in the elderly with cataracts. *Appl Sci*. 2023;13(10):6140. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13106140>
- [18] Patterson KK, Gage WH, Brooks D, et al. Evaluation of gait symmetry after stroke: a comparison of current methods and recommendations for standardization. *Gait Posture*. 2010;31(2):241-246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.10.014>
- [19] Sadeghi H, Allard P, Prince F, et al. Symmetry and limb dominance in able-bodied gait: a review. *Gait Posture*. 2000;12(1):34-45. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(00\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(00)00070-9)
- [20] Robinson RO, Herzog W, Nigg BM. Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *J Manipulative Physiol Ther*. 1987;10(4):172-176.
- [21] Herzog W, Nigg BM, Read LJ, et al. Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. *Med Sci Sports Exerc*. 1989;21(1):110-114. DOI: <https://doi.org/10.1249/00005768-198902000-00020>
- [22] Sutherland DH, Olshen R, Cooper L, et al. The development of mature gait. *J Bone Joint Surg Am*. 1980;62(3):336-353.
- [23] Fawcett SL, Wang YZ, Birch EE. The critical period for susceptibility of human stereopsis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2005;46(2):521-525. DOI: <https://doi.org/10.1167/iovs.04-0175>
- [24] Holmes JM, Clarke MP. Amblyopia. *Lancet*. 2006;367(9519):1343-1351. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68581-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68581-4)
- [25] Bernal AG, Becerro-de-Bengoa-Vallejo R, Losa-Iglesias ME. Reliability of the OptoGait portable photoelectric cell system for the quantification of spatial-temporal parameters of gait in young adults. *Gait Posture*. 2016;50:196-200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.08.035>
- [26] Kobayashi H, Kakihana W, Kimura T. Combined effects of age and gender on gait symmetry and regularity assessed by autocorrelation of trunk acceleration. *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11:109. DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-109>

사시 환자의 보행 대칭성과 시공간적 보행 지표 분석

김륜영¹, 조현국², 유동식², 김상엽², 노재현², 문병연^{2,*}

¹강원대학교 일반대학원 보건의료과학과, 학생, 삼척 25949

²강원대학교 안경광학과, 교수, 삼척 25949

투고일(2025년 7월 7일), 수정일(2025년 7월 31일), 게재확정일(2025년 8월 4일)

목적: 사시 환자와 정상군의 보행 대칭성(symmetry index, SI) 및 주요 시공간적 보행 지표의 차이를 규명하고, 입체시 저하 및 편위량이 보행 대칭성에 미치는 영향을 분석하여 시기능 이상이 보행 효율성과 안정성에 미치는 영향을 평가하는 것을 목적으로 한다. **방법:** 8세에서 19세 사이의 사시 환자 20명과 정상 대조군 20명을 대상으로 보행 분석을 실시하였다. 모든 참가자는 OptoGait 시스템(Microgate, Italy)을 이용하여 4 m 구간을 자연스러운 속도로 맨발 보행하였으며, 보폭, 단일 지지기, 유각기 등의 시공간적 보행 지표와 각 항목의 보행 대칭성 지수(SI)를 산출하였다. 이 지표들은 좌우 하지 보행 변수의 상대적 차이를 백분율로 계산하여 대칭성 정도를 평가하는 데 사용되었다. **결과:** 사시군은 정상군에 비해 보폭과 보행 속도가 통계적으로 유의하게 감소하였고($p<0.05$), 보폭 SI, 단일 지지기 SI, 유각기 SI 모두에서 유의한 비대칭성 증가가 나타났다($p<0.05$). 입체시 역치가 높을수록 보폭 SI($p=0.002$)와 단일 지지기 SI($p=0.025$)가 유의하게 증가하였다. 편위량과 보행 SI 간에는 통계적으로 유의한 상관이 관찰되지 않았다. **결론:** 사시는 보행의 공간적 조절 능력과 대칭성을 저하시켜 보행의 효율성과 안정성을 감소시키는 것으로 나타났다. 따라서 정량적 보행 분석은 사시 환자의 기능적 평가와 재활 전략 수립에 중요한 자료가 될 수 있다.

주제어: 사시, 보행 분석, 보행 대칭성, 입체시, 시기능 이상