KJAB

Korean Journal of Applied Biomechanics 2026; 36(1): 9-18
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2026.36.1.9
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

# Effects of Visual Restriction Training on Badminton Stroke Performance: A Comparison Across Skill Levels

# 시야 제한 훈련이 배드민턴 스트로크 수행에 미치는 영향: 숙련도 수준에 따른 비교

**Eunhye Bang, Jeongje Lee, Jia Yoo, In-Pyo Hong, Daekyoo Kim**

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

**Received : 13 January 2026**
**Revised : 19 February 2026**
**Accepted : 19 February 2026**

**Corresponding Author**
**Daekyoo Kim**
Department of Physical Education, Korea University, Uncho-Useon Education Building #718, Seoul, 02841, South Korea
Email : daekyookim@korea.ac.kr

**Objective:** This study aimed to investigate the role of visual information in badminton performance by examining how a 6-week visual restriction training program influence stroke rate, and foot pressure symmetry across different skill levels. In addition, it sought to clarify how visual-information constraints shape performance strategies and sensorimotor adaptations by comparing training-induced changes with the performance characteristics of untrained individuals and elite athletes.

**Methods:** Participants were divided into a trained group (n=16), an untrained group (n=14), and an elite athlete group (n=14). The trained group completed a 6-week visual restriction program. All participants performed underhand strokes combined with three footwork tasks (Stationary, Single, and Multiple step) under open- and restricted-vision conditions. Stroke success rate, reaction time, and foot pressure symmetry index (SI) were quantified using smart insole sensors.

**Results:** In the trained group (Study 1), stroke success rates significantly improved post-training, particularly during the multiple step task under restricted vision, indicating enhanced stability under sensory uncertainty. Reaction time exhibited task-dependent adaptations: it decreased in stationary tasks but shifted strategically toward stability in dynamic tasks. In comparative analyses (Study 2 & 3), the trained group outperformed the untrained group in success rates under restricted vision. Notably, the trained group exhibited higher foot pressure symmetry than the elite athletes. This suggests that while training improves symmetry in novices, elite performance may rely on sport-specific functional asymmetry for movement efficiency.

**Conclusion:** Visual conditions, training experience, and skill level differentially influence badminton performance. Vision-constraint-based training contributes to improvements in technical accuracy and adaptive sensorimotor control. Smart insole-based assessment offers a practical and objective method for capturing these performance adaptations. These findings support the development of multidimensional training programs incorporating perceptual constraints and sensorimotor integration strategies.

**Keywords:** Badminton performance, Visual restriction training, Stroke success rate, Reaction time, Foot pressure symmetry, Smart insoles

Copyright © 2026 Korean Journal of Applied Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## INTRODUCTION

배드민턴은 네트를 사이에 두고 셔틀콕을 주고받는 라켓 종목으로, 경기 중 셔틀콕의 속도와 방향, 그리고 회전 특성이 매우 빠르게 변화하며 동시에 상대 선수의 움직임 역시 지속적으로 변한다. 이러한 환경에서는 시각 정보를 신속하게 탐지하고 해석하는 능력이 경기 수행의 핵심 요인으로 작용한다(Bańkosz, Nawara & Ociepa, 2013). 특히 숙련된 선수는 셔틀콕의 비행 경로와 상대의 사전 동작 단서를 바탕으로 다음 상황을 예측하고, 그에 부합하는 의사결정을 통해 유리한 타이밍에 스트로크를 수행한다(BWF, 2013; Hülsdünker, Strüder, & Mierau, 2018; Hülsdünker et al., 2019). 이러한 예측 기반 반응 능력은 숙련도에 따라 차이를 보이며, 그 차이는 단순한 정적 과제보다 스트로크 수행과 같은 역동적 상황에서 더욱 뚜렷하게 나타난다(Robertson, De Waelle, Deconinck & Lenoir, 2022). 또한, 반복적인 훈련 경험은 시각 정보 처리와 의사결정의 효율성을 향상시켜 반응시간 단축과 밀접하게 연관되는 것으로 보고된다(Abernethy, Gill, Parks & Packer, 2001; Hülsdünker, Strüder & Mierau, 2017; Ward, Williams & Bennett, 2002).

시각적 탐색은 목표를 인지하고 적절한 움직임을 계획하는 데 필수적인 인지 과정으로 간주되며(Goldstein, 2007; Schmidt & Wrisberg, 2008), 반응시간은 자극 제시 이후 시각 정보의 지각과 판단을 거쳐 신체 반응이 개시되기까지의 전 과정을 반영하는 지표로 활용된다(Schmidt & Wrisberg, 2008). 배드민턴 관련 선행연구에서 선수 집단은 비선수 집단에 비해 짧은 반응시간을 보이는 것으로 보고되었으며(Bańkosz et al., 2013; Dube, Mungal & Kulkarni, 2015; Loureiro Jr & Freitas, 2012), 시각적 지각 및 처리 속도는 시각-운동 반응시간을 예측하는 주요 요인으로 제시된다(Hülsdünker et al., 2018). 더 나아가 실제 경기 상황에서는 민첩성과 반응시간이 상호작용하며(Young, Rayner & Talpey, 2021), 제한된 공간과 짧은 시간 내에서 이동과 타격이 연속으로 이루어진다. 이러한 특성은 배드민턴 종목에서 통합적 반응 능력이 경기력과 직결되는 주요 요소로 작용함을 시사한다(Pojskić et al., 2019).

한편 동작 개시까지의 반응 특성은 시야 조건에 따라 크게 달라질 수 있다(Broadbent, Causer, Williams & Ford, 2015; Kim, Pu, Woo & Gill, 2018). 시야가 개방된 조건에서는 상대 동작이나 셔틀콕의 궤적과 같은 예측 단서를 활용할 수 있어 반응시간과 정확도 측면에서 유리한 수행이 가능하지만(Kuan, Zuhairi, Omar, Manan & Knight, 2018), 시야가 제한될 경우 반응 지연과 정확도 저하가 보고된다(Hülsdünker et al., 2019). 이와 같은 상황에서는 시각 정보에 대한 의존이 감소하고, 고유수용성감각이나 평형감각과 같은 시각 외 감각 정보의 활용 비중이 상대적으로 증가한다(Davids, Araújo, Vilar, Renshaw & Pinder, 2013; Symeonidou & Ferris, 2022). 그 결과, 여러 감각 정보를 통합하여 움직임을 조절하는 감각-운동 통합 능력과 예측 기반 전략의 중요성이 더욱 강조될 수 있다(Davids et al., 2013; Kim, Triolo & Charkhkar, 2023). 그러나 기존 반응 연구의 상당수는 실험실 환경에서의 단순 자극–반응 과제에 집중되어 있어, 실제 스포츠 상황에서 요구되는 복합적 인지–운동 과정과 수행 전이를 충분히 반영하지 못한다는 한계를 지닌다(Araújo & Davids, 2016; Broadbent et al., 2015). 이러한 한계를 보완하기 위해 최근에는 실제 경기 동작과 환경 특성을 반영한 훈련 및 평가가 주목되고 있으며(Farrow & Robertson, 2017; Pinder, Davids, Renshaw & Araújo, 2011), 웨어러블 센서 기술은 현장 기반에서 동작 개시와 반응 특성을 정량적으로 분석할 수 있는 유용한 대안으로 제시되고 있다(Baca, Dabnichki, Heller & Kornfeind, 2009; Düking, Fuss, Holmberg & Sperlich, 2018; Peake, Kerr & Sullivan, 2018; Hong et al., 2025).

본 연구의 목표는 실제 경기 상황에 근접한 시야 조건(개방/제한), 훈련 개입 여부, 그리고 숙련도 수준에 따라 배드민턴 스트로크 수행 능력이 어떻게 달라지는지를 조사하고, 시각 정보의 가용성 변화가 감각–운동 통합 과정과 반응 전략에 미치는 영향을 규명하는 데 있다. 이를 위해 스마트 인솔 기반의 정량적 측정 시스템을 활용하여 시각 자극 이후 동작 개시 과정에서 나타나는 신체 이동과 균형 조절 특성을 연속적으로 파악하였다. 이러한 측정 접근은 단순 자극–반응 과제에 기반한 기존 반응시간 측정이 지니는 한계를 보완할 수 있는 방법론적 장점을 제공한다(Chen, Lach, Lo & Yang, 2016; Liu, 2021). 나아가 본 연구의 접근은 반응 전략의 변화와 훈련 효과를 보다 입체적으로 평가할 수 있는 현장 적용 가능성을 제시하며(Pinder et al., 2011; Broadbent et al., 2015), 다양한 운동 참여자 집단을 대상으로 한 훈련 설계 및 수행 모니터링을 위한 실천적 근거를 제공할 것으로 기대된다.

## METHODS

본 연구는 연구 목적에 따라 세 가지 분석 단계로 구성되었다. Study 1에서는 훈련 집단을 대상으로 시야 조건과 동작 유형에 따른 훈련 전·후 변화를 분석하였다. Study 2에서는 훈련 집단과 미훈련 집단을 비교하여 시야 조건에 따른 훈련 효과를 검토하였으며, Study 3에서는 훈련 집단과 선수 집단을 비교하여 숙련도 수준에 따른 수행 특성을 분석하였다. 각 Study는 분석 목적과 비교 집단에 따라 구분되었으며, 동일한 실험 과제와 측정 지표를 기반으로 수행되었다.

**Table 1.** Demographic characteristics of the study population

| Group | N | Gender (M/F) | Age | Experience (years) |
|---|---|---|---|---|
| Trained | 16 | 11/5 | 28 | 4.8 |
| Untrained | 14 | 10/4 | 24 | 3.1 |
| Athlete | 14 | 8/6 | 22 | 10.7 |

## 1. 연구 대상

본 연구는 만 20-35세의 건강한 성인 배드민턴 참여자를 대상으로 훈련 집단(n=16), 미훈련 집단(n=14), 선수 집단(n=14) 등 총 3개 집단으로 구성하였다(Table 1). 모든 참여자는 최근 1년 이내 수술·외상 이력이 없고 신체 활동에 의학적 제한이 없는 자로 선정하였다. 생활체육 집단(훈련/미훈련 집단)은 대한배드민턴협회 기준 D급 이상의 동호인을 대상으로 하였으며, 선수 집단은 K대학교 소속 등록 선수로 구성하였다. 본 연구는 고려대학교 기관생명윤리위원회의 승인(IRB No. 2024-0243)을 받아 수행되었으며, 모든 참여자는 연구 목적과 절차에 대한 설명을 듣고 자발적으로 동의하였다.

## 2. 실험 절차 및 데이터 수집

본 연구는 훈련 집단, 미훈련 집단, 선수 집단의 총 3개 집단으로 구성되었다. 훈련 집단은 사전·사후 2회 측정을 실시하였으며, 미훈련 집단과 선수 집단은 단일 측정만 수행하였다. 배드민턴 수행 중 반응시간과 발 움직임 특성을 정량화하기 위해 모든 참여자는 스마트 인솔 센서를 착용하였다. 해당 인솔은 좌우 발 각각에 40개의 정전식 압력 센서가 균등하게 배치된 얇고 유연한 구조로 설계되었고(FunWorld, Korea), 압력 데이터는 100 Hz로 수집되었으며 측정 범위는 15-1,200 kPa였다. 본 측정에 앞서 참여자에게는 스마트 인솔 착용과 과제 수행에 익숙해질 수 있도록 연습 시간을 제공하였고, 측정 중 인솔이 신발 내부에서 이동하지 않도록 고정하였다.

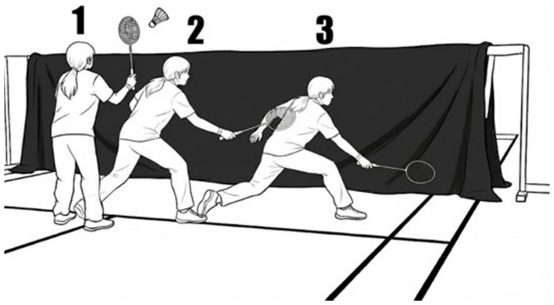


**Figure 1.** Stroke movements under restricted-vision conditions: (1) Stationary step, (2) Single step, and (3) Multiple step

측정 과제는 배드민턴 스트로크 수행 상황에서 나타나는 발 움직임 양상을 반영하여 발 고정, 한 발 움직임, 전위 스텝의 3가지 동작으로 구성하였다(Figure 1). 발 고정은 하지 움직임을 최소화한 상태에서 반응 특성을 평가하기 위해 설정하였고, 한 발 움직임은 고정된 발을 기준으로 움직이는 발의 순간적 반응과 균형 조절 능력을 관찰하기 위해 적용하였다. 전위 스텝은 네트 전방으로의 빠른 이동과 스트로크 수행이 동시에 요구되는 풋워크 과제로, 이동이 수반되는 상황에서의 반응시간과 수행 특성을 분석하기 위해 포함하였다. 모든 과제는 시야 개방 조건과 시야 제한 조건에서 각각 수행하였다. 시야 개방 조건에서는 네트 너머의 시야를 확보하여 셔틀콕 궤적 및 방향에 대한 시각 단서 활용이 가능하도록 하였으며, 시야 제한 조건에서는 차광막을 설치하여 시각 정보를 차단함으로써 비시각적 감각 정보와 예측에 기반한 동작 개시 및 반응 특성이 나타나도록 하였다. 측정은 1회 1인 방식으로 진행하였으며, 각 측정 전 스마트 인솔의 배터리 상태와 데이터 수집 장치 간 블루투스 연결을 점검한 후 본 측정을 실시하였다.

훈련 집단은 2024년 11월부터 12월까지 6주간 주 1회 훈련에 참여하였다. 훈련 프로그램은 Badminton Education Coaches' Manual Level 2 (BWF, 2013)와 배드민턴 훈련지도서(Korea Foundation for the Next Generation Sports Talent, 2021)에 제시된 속도, 민첩성, 순발력(Speed, Agility, & Quickness; SAQ) 훈련을 기반으로 구성되었다. 훈련은 시야 제한, 타구 방향·거리·속도 변동 등 환경 제약을 체계적으로 조절하여 감각–운동 재가중과 예측 기반 반응 전략의 변화를 유도하도록 설계하였으며(Araújo & Davids, 2016; Pinder et al., 2011), 동일 과제의 반복 자체보다 수행 메커니즘의 질적 변화를 목표로 하였다. 훈련 기간을 6주로 설정한 것은 단기간 개입에서도 민첩성, 균형 및 감각–운동 통합 능력의 향상이 가능하다는 선행연구에 근거하였고(Alikhani, Shahrjerdi, Golpaigany & Kazemi, 2019; Kovac, Krkeljas & Venter, 2022; Miller, Herniman, Ricard, Cheatham & Michael, 2006), 연구 기간 동안 추가적인 배드민턴 훈련은 통제하였다.

## 3. 데이터 분석

본 연구에서는 배드민턴 수행 특성을 정량적으로 분석하기 위해 스트로크 성공률, 반응시간, 발 압력 대칭 지수를 주요 분석 변인으로 설정하였다. 스트로크 성공률은 스트로크 수행 시 셔틀콕이 네트를 넘어 상대 코트의 유효 구역 안으로 진입한 경우를 성공으로 정의하였으며, 네트 접촉, 타구 실패 또는 아웃은 실패로 간주하였다(BWF, 2013). 모든 참여자는 각 조건별로 10회씩 스트로크를 수행하였고, 성공 횟수를 전체 시도 횟수 대비 백분율(%)로 환산하여 성공률을 산출하였다. 스트로크 성공 여부는 촬영된 영상 자료를 기반으로 연구자와 배드민턴 전문가 3인이 삼각검증(triangulation)을 통해 판정하였다(Huang, Guo, Zhao, Liu & Dai, 2025).

반응시간은 시각 자극이 제시된 시점부터 실제 움직임이 개시되는 시점까지의 경과 시간으로 정의하였다(Kosinski, 2008). 실험 중 코트 반대편에서 시각 자극(셔틀콕 발사)이 제시되면, 참가자는 이에 반응하여 움직임을 개시하였다. 이를 위해 스마트 인솔로부터 수집된 3축 가속도 데이터를 결합하여, 방향성과 무관한 전체 가속도 크기(acceleration vector magnitude)를 산출하였다. 자극 제시 직전 구간을 기준선으로 설정한 후, 해당 구간의 평균값에 표준편차의 3배를 더한 값을 임계값으로 정의하였다. 자극 제시 이후 가속도 크기가 이 임계값을 최초로 초과하는 시점을 움직임 개시 시점으로 설정하였으며(Cudejko, Button & Al-Amri, 2023; Dahl, Dunford, Wilson, Turnbull & Tashman, 2020), 자극 제시 시점과 이 시점간의 시간 차이를 반응시간으로 산출하였다.

발 압력 대칭 지수는 좌우 발에 가해지는 압력의 상대적 분포를 평가하기 위해 대칭 인덱스(Symmetry Index; SI)를 사용하였다(Giakas & Baltzopoulos, 1997; Kim & Eng, 2003). SI는 다음의 식을 통해 산출하였다(Figure 2).

$$SI(\%) = \left(1 - \frac{|X_{right} - X_{left}|}{X_{right} + X_{left}}\right) \times 100$$

**Figure 2.** Formula for calculating the Foot Pressure Symmetry Index (SI)

$X_{right}$와 $X_{left}$는 각각 오른발과 왼발에 가해진 평균 발 압력 값을 의미한다. 본 연구에서는 각 과제 수행 시 스마트 인솔로부터 수집된 발 압력 데이터 중 분석 대상 구간에서의 좌·우 발 평균 압력 값을 이용하여 SI를 계산하였다. 본 공식을 통해 산출된 SI 값(%)은 각 참가자의 발 압력 대칭성을 정량화한 지표로, 값이 클수록 하중 분포가 보다 대칭적인 상태를 의미하며, 이후 통계 분석을 위한 최종 지표로 활용하였다.

본 연구에서 수집된 모든 데이터는 스마트 인솔 전용 애플리케이션을 통해 측정 직후 클라우드 서버에 자동 업로드 되었으며, 이후 CSV 형식으로 저장되었다. 데이터 전처리 및 분석은 Python 기반 Google Colaboratory 환경에서 수행하였다. 전처리 과정에서는 결측값, 중복 기록, 센서 오류로 판단되는 비정상적 측정값을 점검한 후, 사전에 설정한 기준에 따라 신뢰성이 확보된 자료만을 선별하였다. 그 결과, 훈련 집단에서는 사전·사후 측정에서 총 192개의 CSV 파일이 확보되었으며, 미훈련 집단과 선수 집단에서는 각각 56개의 CSV 파일이 확보되었다. 최종적으로 전체 분석에는 총 304개의 CSV 파일이 사용되었다.

Study 1에서는 변인의 측정 특성과 분석 목적을 고려하여 분석 단위를 차별적으로 적용하였다. 스트로크 성공률과 반응시간은 반복 수행에 따른 수행 안정성을 반영하기 위해 개인별 및 조건별 평균값을 사용하였다. 발 압력 대칭 지수의 경우, 반복 수행 과정에서 나타나는 하중 조절 및 대칭성 변화의 미세한 특성을 보다 민감하게 포착하기 위해 trial 단위 자료를 분석에 활용하였다. Study 2와 Study 3에서는 집단 간 수행 수준의 차이를 비교하는 것을 주요 분석 목적으로 설정하였다. 이에 따라 반복 수행에 따른 개인 내 변동성의 영향을 최소화하고 각 조건을 대표하는 수행 특성을 반영하기 위해, 발 압력 대칭 지수를 포함한 모든 분석 변인에 대해 조건별 평균값을 산출하여 분석하였다. 이러한 분석 전략은 집단 간 비교 연구에서 수행 특성의 대표성과 해석의 명확성을 확보하기 위한 접근 방식에 근거한다(Dames, Smith & Heise, 2017; Forrester, 2015).

## 4. 통계 분석

모든 통계 분석은 Python 3.13.0 (Python Software Foundation)을 사용하여 수행하였다. 대상자의 신체적 특성은 평균 및 표준편차로 제시하였다. Study 1에서는 검사 시점(사전 vs 사후), 시야 조건(시야 개방 vs 시야 제한), 동작 유형(발 고정, 한 발 움직임, 전위 스텝)이 배드민턴 수행 지수(스트로크 성공률, 반응시간, 발 압력 대칭 지수)에 미치는 영향을 검증하기 위해 삼원 반복측정 분산분석(3-way repeated-measures ANOVA)을 실시하였다. Study 2에서는 분석 대상을 발 고정 동작으로 제한하고, 집단(훈련 집단 사후 vs 미훈련 집단)과 시야 조건(시야 개방 vs 시야 제한)이 수행 지수에 미치는 영향을 평가하기 위해 이원 혼합설계 분산분석(2-way mixed-design ANOVA)을 실시하였다. Study 3에서도 분석 대상을 발 고정 동작으로 제한하고, 집단(훈련 집단 사후 vs 선수 집단)과 시야 조건(시야 개방 vs 시야 제한)의 효과를 평가하기 위해 이원 혼합설계 분산분석(2-way mixed-design ANOVA)을 실시하였다. 효과 크기는 부분 η-제곱(partial eta-squared,

$\eta p^2$)으로 보고하였고, 해석 기준은 작은 효과(0.01), 중간 효과(0.06), 큰 효과(0.14)로 설정하였다. 유의한 주효과 또는 상호작용이 확인된 경우, 상호작용의 해석을 위해 단순효과 분석을 수행하였고, 조건 간 비교에는 Bonferroni 보정을 적용한 사후 비교를 실시하였다. 모든 검정의 유의수준은 $\alpha$ = 0.05로 설정하였다.

## RESULTS

### 1. Study 1

#### 1) 스트로크 성공률

스트로크 성공률에서는 검사 시점(훈련 전/훈련 후) × 시야 조건(개방/제한) × 동작 유형(발 고정/한 발 움직임/전위 스텝)의 삼원 상호작용이 유의하였다($F$(2, 30) = 41.49, $p$ < .01, $\eta p^2$ = .74). 동작 유형별 단순 이원 상호작용(simple 2-way interaction)을 검정한 결과, 전위 스텝에서만 시야 조건 × 검사 시점 상호작용이 유의하였으며($F$(1, 15) = 61.00, $p$ < .01, $\eta p^2$ = .80), 발 고정과 한 발 움직임에서는 유의하지 않았다(각각 $F$(1, 15) = 0.65, $p$ = .432, $\eta p^2$ = .04; $F$(1, 15) = .15, $p$ = .708, $\eta p^2$ = .01; Figure 3A).

한 발 움직임과 전위 스텝에서의 상호작용을 해석하기 위해 시야 조건별로 검사 시점(훈련 전 vs 훈련 후)의 단순-단순 주효과(simple-simple effects)를 검정한 결과, 시야 개방과 시야 제한 조건 모두에서 훈련 후 스트로크 성공률이 훈련 전보다 유의하게 증가하였다(각각 $p$ < .01). Bonferroni 보정 Post-hoc 분석 결과, 전위 스텝에서 시야 제한 조건의 훈련

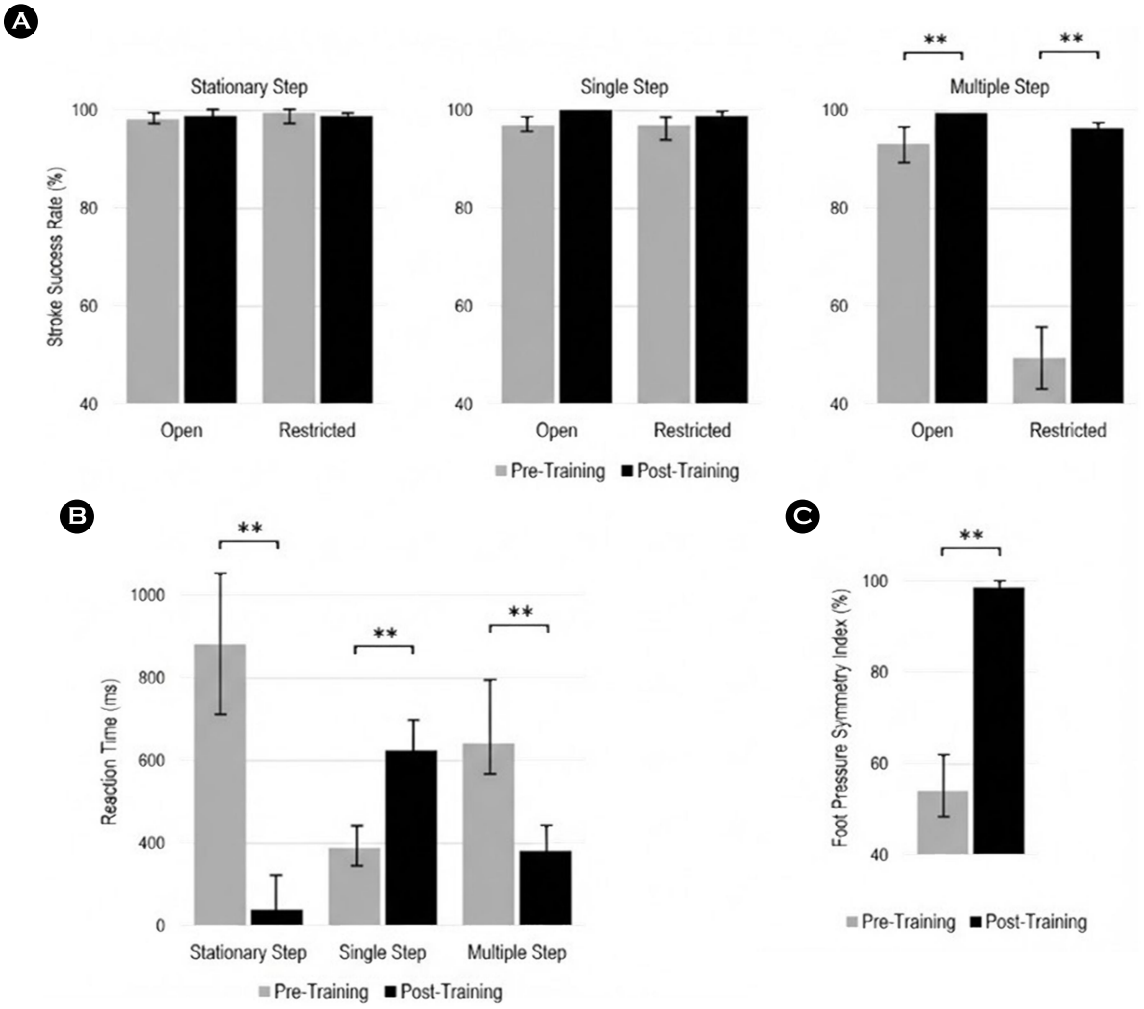


**Figure 3.** Comparison of pre-post training measurement results: (A) Stroke success rate, (B) Reaction time, (C) Foot pressure symmetry index; *$p$ <. 05; **$p$ < .01

전–훈련 후 변화량이 시야 개방 조건보다 유의하게 컸다($p$ < .01; Figure 3A).

### 2) 반응시간

반응시간에서는 검사 시점 × 동작 유형의 이원 상호작용이 유의하였다($F$(2, 30) = 6.24, $p$ < .01, $\eta p^2$ = .29). 동작 유형별로 검사 시점의 단순 주효과를 검정한 결과, 발 고정과 한 발 움직임에서는 훈련 전–훈련 후 반응시간의 변화가 유의하였으나, 전위 스텝에서는 감소 경향만 나타났고 통계적으로 유의하지는 않았다(각각 $F$(1, 15) = 6.99, $p$ = .018, $\eta p^2$ = .32; $F$(1, 15) = 4.84, $p$ = .044, $\eta p^2$ = .24; $F$(1, 15) = 3.25, $p$ = .092, $\eta p^2$ = .18).

Bonferroni 보정 Post-hoc 분석 결과, 동작별 검사 시점 비교에서 통계적으로 유의한 차이는 확인되지 않았다. 발 고정과 전위 스텝에서는 훈련 후 반응시간이 훈련 전보다 감소하는 경향을 보였으나, 보정 후에는 통계적으로 유의한 수준에는 도달하지 않았다(각각 $p$ = .055, $p$ = .275). 반면에, 한 발 움직임에서는 훈련 후 반응시간이 훈련 전보다 증가하는 경향이 관찰되었으나 통계적으로 유의하지는 않았다($p$ = .132; Figure 3B).

### 3) 발 압력 대칭 지수

발 압력 대칭 지수에서는 검사 시점의 주효과가 유의하였다($F$(1, 15) = 123.76, $p$ = .001, $\eta p^2$ = .40). Bonferroni 보정 Post-hoc 비교 결과, 훈련 후 발 압력 대칭 지수가 훈련 전보다 유의하게 증가하였다($p$ < .01; Figure 3C).

## 2. Study 2

### 1) 스트로크 성공률

스트로크 성공률에서 집단(훈련 집단 vs 미훈련 집단) × 시야 조건(개방 vs 제한)의 이원 상호작용이 유의하였다($F$(1, 28) = 54.03, $p$ < .01, $\eta p^2$ = .49; Figure 4A). 각 집단에서 시야 조건의 단순 주효과를 검정한 결과, 시야 개방과 시야 제한 조건 모두에서 훈련 집단의 스트로크 성공률이 미훈련 집단보다 유의하게 증가하였다($F$(1, 28) = 128.40, $p$ < .01, $\eta p^2$ = .70). Bonferroni 보정 Post-hoc 분석에서 시야 제한 조건의 스트로크 성공률의 집단 차이가 시야 개방 조건보다 유의하게 컸다($p$ < .01).

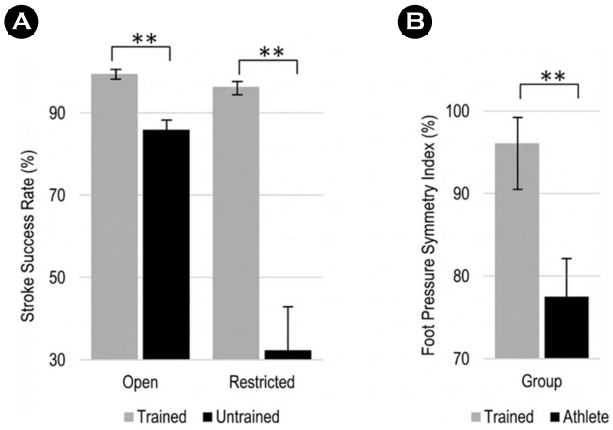


**Figure 4.** Comparison of stroke performance. (A) Stroke success rate (%) between trained and untrained group, (B) Foot pressure symmetry index (%) between trained and athlete group; *$p$ <. 05; **$p$ < .01

## 3. Study 3

### 1) 발 압력 대칭 지수

발 압력 대칭 지수에서 집단(훈련 집단 vs 선수 집단) 주효과가 유의하였다($F$(1, 28) = 7.68, $p$ < .01, $\eta p^2$ = .12). Bonferroni 보정 Post-hoc 분석에서 훈련 집단의 발 압력 대칭 지수가 선수 집단보다 유의하게 컸다($p$ < .01; Figure 4B).

## DISCUSSION

본 연구는 시야 제한을 포함한 훈련이 배드민턴 스트로크 수행에 미치는 영향을 동작 유형과 숙련도 수준을 함께 고려하여 분석하였다. 그 결과, 시야 제한 훈련의 효과는 반응시간의 단순한 단축보다는 이동과 자세 제어가 요구된 조건에서 수행의 안정성과 전략적 조절을 강화하는 방향으로 나타났다. 전반적으로 훈련 효과는 모든 지표에서 동일한 형태로 나타나기보다, 동작 유형과 수행 요구에 따라 서로 다른 양상으로 관찰되었다. 스트로크 성공률은 동작 유형에 따라 시야 조건과 검사 시점의 결합 효과가 달라졌고, 반응시간과 발 압력 대칭 지수 또한 동작 특성에 따라 상이한 변화 양상을 보였다.

Study 1에서 한 발 움직임과 전위 스텝에서 훈련 후 스트로크 성공률이 증가한 결과는, 이동–자세 정렬–타격으로 이어지는 연속 동작의 수행 안정성이 향상되었음을 의미한다. 특히 전위 스텝에서 시야 제한 조건의 전후 변화량이 시야 개방 조건보다 크게 나타난 점은, 시야 정보가 제한될 때 전위 스텝 수행이 더 큰 부담을 받는다는 과제 특성과 일치한

다(Abernethy, 1990; Bent, McFadyen & Inglis, 2002; Vickers, 2007). 이는 시야 제한 훈련이 시각 입력이 충분하지 않은 상황에서도 타격 수행을 유지하도록 하는 조절 전략의 형성에 기여했을 가능성을 뒷받침한다(Pinder et al., 2011; Renshaw, Davids, Shuttleworth & Chow, 2009).

반응시간은 동작 유형에 따라 서로 다른 변화 양상을 보였다. 발 고정과 전위 스텝에서는 훈련 후 반응시간이 감소한 반면, 한 발 움직임에서는 반응시간이 증가하였다. 이는 훈련 효과가 모든 동작에서 동일한 방식으로 나타나지 않았음을 의미한다(Fitts & Posner, 1967; Müller, Morris-Binelli, Hambrick & Macnamara, 2024). 한 발 움직임은 단일지지 구간이 포함되어 자세 안정화 요구가 상대적으로 크므로, 훈련 후에는 빠른 반응 개시보다 안정적 수행을 우선하는 준비 과정이 반응시간에 반영되었을 수 있다(Horak, 2006; Winter, 1995). 따라서 반응시간 변화는 동작 특성에 따라 수행 전략이 달라진 결과로 해석하는 것이 타당하다. 한편, 전위 스텝 동작에서 반응시간 변화가 통계적으로 유의하지 않았던 결과는 과제의 상대적 복잡성과 측정 민감도 측면에서 해석될 수 있다. 전위 스텝은 하체 이동과 타구 동작이 결합된 복합 수행 형태로, 반응 개시 시점이 단일 사건으로 명확히 구분되기보다 연속적인 준비 과정 속에서 나타날 가능성이 크다. 이로 인해 반응시간 지표는 전위 스텝 수행에서의 미세한 전략적 조절이나 안정화 과정을 충분히 민감하게 반영하지 못했을 수 있다.

Study 1에서 훈련 후 발 압력 대칭 지수가 증가한 결과는 스트로크 수행 변화와 병행하여 지지 기반의 하중 분배 양상이 변화했음을 시사한다(Bishop, Turner & Read, 2018; Zifchock, Davis, Higginson & Royer, 2008). 이 지표가 시야 조건이나 동작 유형에 특이적으로 변하지 않은 점은, 시야 정보 변화에 대한 즉각적 반응이 아닌 반복 수행 과정에서 형성된 기본적인 하중 조절 특성이 반영된 결과로 해석될 수 있다. 다만 발 압력 대칭 지수는 수행 성공을 직접 설명하는 지표가 아니므로, 관절 운동학 및 근신경계 지표와 결합하여 기능적 의미를 추가로 확인할 필요가 있다(Gribble, Hertel & Plisky, 2012; Maloney, 2019; Kim & Gill, 2020; Kim, Lewis & Gill, 2021).

본 연구의 집단 비교 분석(Study 2, 3)에서는 과제 복잡성에 따른 수행 변동을 최소화하고, 시야 조건 및 집단 간 차이를 보다 명확하게 해석하기 위해 발 고정 과제를 중심으로 분석을 수행하였다. 반응시간과 발 압력 대칭 지수는 하체의 즉각적인 반응 및 하중 분포 특성을 비교적 단순한 과제에서 평가하는 것이 집단 효과를 보다 분명히 드러낼 수 있다고 판단하였다. 반면, 전위 스텝 동작은 하체 이동과 타구 동작이 결합된 복합 수행 형태로 실제 경기 상황을 잘 반영하지만, 수행 전략과 숙련도에 따른 변동성이 커 집단 간 순수한 효과를 비교하는 데에는 제한이 있을 수 있다. 이러한 이유로 집단 비교 분석에서는 발 고정 과제를 활용하여 결과를 해석하였다.

Study 2의 집단 비교에서는 발 고정 조건에서 훈련 집단이 미훈련 집단보다 높은 스트로크 성공률을 보였고, 그 차이가 시야 제한 조건에서 더 크게 나타났다. 이는 시야 정보가 감소한 상황에서 수행이 취약해지는 정도가 훈련을 통해 완화될 수 있음을 보여주며(D'Elia, D'Isanto, Altavilla, Esposito & Raiola, 2023), 시야 제한을 포함한 훈련이 타격 동작의 재현성과 안정성을 강화하는 방향으로 작용했을 가능성을 지지한다(Broadbent et al., 2015). 즉, 훈련 효과는 정상 시야 조건에서의 일반적 향상 뿐 아니라 시야 정보가 불완전한 조건에서의 수행 안정성 향상으로도 나타날 수 있다.

Study 3에서 훈련 집단의 발 압력 대칭 지수가 선수 집단보다 높게 나타난 결과는, 대칭성이 항상 우수한 수행을 의미한다는 단순한 해석과는 일치하지 않을 수 있다. 라켓 스포츠에서는 종목 특이적으로 우세측 중심의 하중 사용이 반복되며, 숙련도 증가에 따라 기능적 비대칭이 강화될 수 있음이 보고되어 왔다(Fox, Pearson & Hicks, 2023; Lam, Wong & Lee, 2020). 따라서 선수 집단의 상대적으로 낮은 대칭 지수는 균형 능력의 저하라기보다 종목 수행 효율과 관련된 하중 사용 전략을 반영한 결과로 해석될 수 있다. 실제로 상위 수준의 라켓 스포츠 선수는 지배측 중심의 이동, 타구 패턴, 방향 전환과 같은 종목 특이적 요구에 반복적으로 노출되며, 이에 따라 비대칭적 하중 분배 전략을 습득하는 것으로 보고되어 있다(Madruga-Parera et al., 2020). 이러한 경도의 비대칭성은 수행 효율성을 높이기 위한 적응적 전략으로 기능할 수 있다(Maloney, 2019). 한편, 훈련 집단의 높은 대칭 지수는 본 연구의 과제 조건(발 고정)에서 안정성을 우선하는 하중 분배 전략이 강화된 결과로 해석될 수 있다. 향후 연구에서는 경기력 지표(정확도 및 속도)와 하중 분배 패턴 간의 관계를 함께 분석하여, 숙련도 수준에 따른 대칭 지수의 기능적 의미를 보다 정밀하게 검증할 필요가 있다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 반응시간 과제는 단일 자극–반응 구조로 설계되어 실제 경기에서 요구되는 예측 및 선택 반응 특성을 충분히 반영하지 못하였다. 둘째, 발 압력 대칭 지수는 하중 분배의 공간적 특성을 요약한 지표로서 관절 수준의 역학적 조절이나 근신경계 활성 변화를 직접적으로 설명하는 데 제한이 있다. 셋째, 훈련 기간 및 표본 규모가 제한적이므로 관찰된 적응의 장기 유지 여부와 숙련도 수준에 따른 일반화 가능성은 추가 검증이 필요하다. 후속 연구에서는 예측 기반 반응 과제, 관절 운동학 및 근전도 지표를 포함한 다면적 분석, 그리고 장기 추적 설계를 통해 시야 제한 훈련의 효과와 기전을 보다 정밀하게 규명해야 할 필요가 있다.

## CONCLUSION

본 연구는 시야 제한을 포함한 훈련이 배드민턴 스트로크 수행에 미치는 영향을 동작 유형과 숙련도 수준을 고려하여 평가하였다. 훈련 후 스트로크 성공률은 이동이 포함된 동작에서 향상되었으며, 전위 스텝에서는 시야 제한 조건에서 전후 변화량이 더 크게 나타나 시야 정보 감소 상황에서의 수행 안정성 향상을 시사하였다. 반응시간은 동작 유형에 따라 상이한 방향으로 변화하여, 훈련 효과가 단일한 반응 속도 향상이 아닌 동작 특성에 따른 수행 전략 변화와 관련될 수 있음을 보여준다. 또한 훈련 후 발 압력 대칭 지수의 증가는 하중 분배 특성의 변화를 시사하였고, 집단 비교에서는 시야 제한 조건에서 훈련 집단이 미훈련 집단보다 우수한 수행을 보여 시야 제한 훈련의 적용 가능성을 뒷받침하였다. 선수 집단과의 대칭 지수 차이는 종목 특이적 하중 사용 패턴 관점에서 해석될 여지가 있으며, 후속 연구를 통해 기능적 의미를 추가로 검증할 필요가 있다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by the 2025 Research Fund of the College of Education (K2514491), Korea University.

## REFERENCES

Abernethy, B. (1990). Expertise, visual search, and information pick-up in squash. *Perception*, *19*(1), 63-77.

Abernethy, B., Gill, D. P., Parks, S. L. & Packer, S. T. (2001). Expertise and the perception of kinematic and situational probability information. *Perception*, *30*(2), 233-252.

Alikhani, R., Shahrjerdi, S., Golpaigany, M. & Kazemi, M. (2019). The effect of a six-week plyometric training on dynamic balance and knee proprioception in female badminton players. *Journal of the Canadian Chiropractic Association*, *63*(3), 144-153.

Araújo, D. & Davids, K. (2016). Team synergies in sport: Theory and measures. *Frontiers in Psychology*, *7*, 1449.

Baca, A., Dabnichki, P., Heller, M. & Kornfeind, P. (2009). Ubiquitous computing in sports: A review and analysis. *Journal of Sports Sciences*, *27*(12), 1335-1346.

Bańkosz, Z., Nawara, H. & Ociepa, M. (2013). Assessment of simple reaction time in badminton players. *Trends in Sport Sciences*, *20*(1), 54-61.

Bent, L. R., McFadyen, B. J. & Inglis, J. T. (2002). Visual-vestibular interactions in postural control during the execution of a dynamic task. *Experimental Brain Research*, *146*(4), 490-500.

Bishop, C., Turner, A. & Read, P. (2018). Effects of inter-limb asymmetries on physical and sports performance: A systematic review. *Journal of Sports Sciences*, *36*(10), 1135-1144.

Broadbent, D. P., Causer, J., Williams, A. M. & Ford, P. R. (2015). Perceptual-cognitive skill training and its transfer to expert performance in the field: Future research directions. *European Journal of Sport Science*, *15*(4), 322-331.

BWF. (2013). *Badminton Education Coaches' Manual Level 2*. Badminton World Federation, Malaysia.

Chen, S., Lach, J., Lo, B. & Yang, G. Z. (2016). Toward pervasive gait analysis with wearable sensors: A systematic review. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, *20*(6), 1521-1537.

Cudejko, T., Button, K. & Al-Amri, M. (2023). Wireless pressure insoles for measuring ground reaction forces and trajectories of the centre of pressure during functional activities. *Scientific Reports*, *13*(1), 14946.

Dahl, K. D., Dunford, K. M., Wilson, S. A., Turnbull, T. L. & Tashman, S. (2020). Wearable sensor validation of sports-related movements for the lower extremity and trunk. *Medical Engineering & Physics*, *84*, 144-150.

Dames, K. D., Smith, J. D. & Heise, G. D. (2017). Averaging trials versus averaging trial peaks: Impact on study outcomes. *Journal of Applied Biomechanics*, *33*(3), 233-236.

Davids, K., Araújo, D., Vilar, L., Renshaw, I. & Pinder, R. (2013). An ecological dynamics approach to skill acquisition: Implications for development of talent in sport. *Talent Development and Excellence*, *5*(1), 21-34.

D'Elia, F., D'Isanto, T., Altavilla, G., Esposito, G. & Raiola, G. (2023). Does training with visual occlusion improve technical skills in under-14 football players? *Acta Gymnica*, *53*, 1-5.

Dube, S. P., Mungal, S. U. & Kulkarni, M. B. (2015). Simple visual reaction time in badminton players: A comparative study. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, *5*(1), 18-20.

Düking, P., Fuss, F. K., Holmberg, H. C. & Sperlich, B. (2018). Recommendations for assessment of the reliability, sensitivity, and validity of data provided by wearable sensors designed for monitoring physical activity. *JMIR Mhealth and Uhealth*, *6*(4).

Farrow, D. & Robertson, S. (2017). Development of a skill

acquisition periodisation framework for high-performance sport. *Sports Medicine*, *47*(6), 1043-1054.

Fitts, P. M. & Posner, M. I. (1967). *Human performance*. Belmont, CA: Brooks/Cole.

Forrester, S. E. (2015). Selecting the number of trials in experimental biomechanics studies. *International Biomechanics*, *2*(1), 62-72.

Fox, K. T., Pearson, L. T. & Hicks, K. M. (2023). The effect of lower inter-limb asymmetries on athletic performance: A systematic review and meta-analysis. *Plos One*, *18*(6), e0286942.

Giakas, G. & Baltzopoulos, V. (1997). Time and frequency domain analysis of ground reaction forces during walking: An investigation of variability and symmetry. *Gait & Posture*, *5*(3), 189-197.

Goldstein, E. B. (2007). *Sensation and perception (7th ed.)*. Thomson/Wadsworth.

Gribble, P. A., Hertel, J. & Plisky, P. (2012). Using the star excursion balance test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: A literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*, *47*(3), 339-357.

Hong, I. P., Yoo, J., Choi, B. K., Kim, T., Jung, H., Kim, G., Kim, S., Han, K. H. & Kim, D. (2025). Gender differences in postural stability of individuals with intellectual disabilities: A static balance assessment (A pilot study). *Korean Journal of Applied Biomechanics*, *35*(1), 40-48.

Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, *35*(suppl 2), ii7-ii11.

Huang, H., Guo, Z., Zhao, M., Liu, M. & Dai, J. (2025). Differences in backcourt forehand clear stroke between novice players and experienced badminton players: Based on body segment acceleration data. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *17*(1), 118.

Hülsdünker, T., Strüder, H. K. & Mierau, A. (2017). Visual motion processing subserves faster visuomotor reaction in badminton players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *49*(6), 1097-1110.

Hülsdünker, T., Strüder, H. K. & Mierau, A. (2018). Visual but not motor processes predict simple visuomotor reaction time of badminton players. *European Journal of Sport Science*, *18*(2), 190-200.

Hülsdünker, T., Rentz, C., Ruhnow, D., Käsbauer, H., Strüder, H. K. & Mierau, A. (2019). The effect of 4-week stroboscopic training on visual function and sport-specific visuomotor performance in top-level badminton players. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, *14*(3), 343-350.

Kim, C. M. & Eng, J. J. (2003). Symmetry in vertical ground reaction force is accompanied by symmetry in temporal but not distance variables of gait in persons with stroke. *Gait & Posture*, *18*(1), 23-28.

Kim, D., Pu, X., Woo, N. & Gill, S. V. (2018). Changes in motor actions in the face of varying task constraints. *Gait & Posture*, *66*, 1-6.

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.

Kim, D., Lewis, C. L. & Gill, S. V. (2021). Effects of obesity and foot arch height on gait mechanics: A cross-sectional study. *Plos One*, *16*(11), e0260398.

Kim, D., Triolo, R. & Charkhkar, H. (2023). Plantar somatosensory restoration enhances gait, speed perception, and motor adaptation. *Science Robotics*, *8*(83), eadf8997.

Korea Foundation for the Next Generation Sports Talent. (2021). *Badminton: Sports Instructor Training Manual*. Jinhan M&B.

Kosinski, R. J. (2008). A literature review on reaction time. *Clemson University*, *10*(1), 337-344.

Kovac, D., Krkeljas, Z. & Venter, R. (2022). Effect of six-week traditional resistance and functional training on functional performance in female netball players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *14*(1).

Kuan, Y. M., Zuhairi, N. A., Omar, R., Manan, F. A. & Knight, V. F. (2018). Visual reaction time and visual anticipation time between athletes and non-athletes. *Malaysian Journal of Public Health Medicine*, *2018*(Special Issue 1), 135-141.

Lam, W. K., Wong, D. W. C. & Lee, W. C. C. (2020). Biomechanics of lower limb in badminton lunge: A systematic scoping review. *PeerJ*, *8*, e10300.

Liu, T. H. (2021). *應用慣性感測器及無線足壓鞋墊對羽球步伐之探討*. Doctoral dissertation, National Taiwan Normal University.

Loureiro Jr, L. D. F. B. & Freitas, P. B. D. (2012). Influence of the performance level in badminton players in neuromotor aspects during a target-pointing task. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, *18*, 203-207.

Madruga-Parera, M., Bishop, C., Fort-Vanmeerhaeghe, A., Beltran-Valls, M. R., Skok, O. G. & Romero-Rodríguez, D.

(2020). Interlimb asymmetries in youth tennis players: Relationships with performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, *34*(10), 2815-2823.

Maloney, S. J. (2019). The relationship between asymmetry and athletic performance: A critical review. *Journal of Strength & Conditioning Research*, *33*(9), 2579-2593.

Miller, M. G., Herniman, J. J., Ricard, M. D., Cheatham, C. C. & Michael, T. J. (2006). The effects of a 6-week plyometric training program on agility. *Journal of Sports Science & Medicine*, *5*(3), 459-465.

Müller, S., Morris-Binelli, K., Hambrick, D. Z. & Macnamara, B. N. (2024). Accelerating visual anticipation in sport through temporal occlusion training: A meta-analysis. *Sports Medicine*, *54*(10), 2597-2606.

Peake, J. M., Kerr, G. & Sullivan, J. P. (2018). A critical review of consumer wearables, mobile applications, and equipment for providing biofeedback, monitoring stress, and sleep in physically active populations. *Frontiers in Physiology*, 9.

Pinder, R. A., Davids, K., Renshaw, I. & Araújo, D. (2011). Representative learning design and functionality of research and practice in sport. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *33*(1), 146-155.

Pojskić, H., Pagaduan, J., Uzicanin, E., Separovic, V., Spasic, M., Foretic, N. & Sekulic, D. (2019). Reliability, validity and usefulness of a new response time test for agility-based sports: A simple vs. complex motor task. *Journal of Sports Science and Medicine*, *18*(4), 623-635.

Renshaw, I., Davids, K., Shuttleworth, R. & Chow, J. (2009). Insights from ecological psychology and dynamical systems theory can underpin a philosophy of coaching. *International Journal of Sport Psychology*, *40*(4), 580-602.

Robertson, K., De Waelle, S., Deconinck, F. J. A. & Lenoir, M. (2022). Differences in expertise level for anticipatory skill between badminton 'in game' strokes and serves. *International Journal of Sports Science and Coaching*, *17*(4), 782-791.

Schmidt, R. A. & Wrisberg, C. A. (2008). *Motor learning and performance: A situation-based learning approach*. Human Kinetics.

Symeonidou, E. R. & Ferris, D. P. (2022). Intermittent visual occlusions increase balance training effectiveness. *Frontiers in Human Neuroscience*, *16*, 748930.

Vickers, J. N. (2007). *Perception, cognition, and decision training: The quiet eye in action*. Human Kinetics.

Ward, P., Williams, A. M. & Bennett, S. J. (2002). Visual search and biological motion perception in tennis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *73*(1), 107-112.

Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, *3*(4), 193-214.

Young, W., Rayner, R. & Talpey, S. (2021). It's time to change direction on agility research: A call to action. *Sports Medicine - Open*, *7*(1), 12.

Zifchock, R. A., Davis, I., Higginson, J. & Royer, T. (2008). The symmetry angle: A novel, robust method of quantifying asymmetry. *Gait & Posture*, *27*(4), 622-627.