

Original Article

Analysis of Relative Gaze Entropy According to Table Tennis Expertise and Levels of Temporal Occlusion

Seok-Hyun Song¹ and Dong-Wook Han^{2*}

¹Institute of Physical Education of Jeonbuk National University

²Jeonbuk National University

Article Info

Received 2024. 07. 16.

Revised 2024. 10. 18.

Accepted 2024. 11. 18.

Correspondence*

Dong-Wook Han

handw@jbnu.edu

Key Words

Gaze entropy, Table tennis,
Temporal occlusion, Choice
Reaction, Heatmap

PURPOSE This study investigated differences in gaze entropy according to skill level and temporal occlusion in table tennis serve reception. **METHODS** Study participants were divided into a skilled group (n = 6) and a novice group (n = 6). The study task involved sitting in front of a monitor while wearing an eye tracker, watching 36 serve videos, and predicting whether the ball's length would be short or long by pressing the "Top" (short serve) or "Bottom" (long serve) pad on the selection response pad. **RESULTS** Overall, the later the temporal occlusion level, the faster the reaction time and the higher the judgment accuracy. At temporal occlusion levels 2 and 3, skilled participants showed higher judgment accuracy than novices. Analysis of heatmap and gaze entropy revealed that novices exhibited visual search toward the ball across all temporal occlusion levels (T1, T2, T3) and had high gaze entropy. In contrast, skilled participants generally showed visual search to the racket area depending on the temporal occlusion level, with low gaze entropy at T1 and T2, and a tendency for increased gaze entropy at T3. **CONCLUSIONS** Compared to novices, skilled participants had lower gaze entropy and fixated more on the racket area when predicting table tennis serves. Similarly, novices focused more on the ball than on the racket. The study also proposed the value of using heatmap and Shannon entropy for this type of analysis.

서론

탁구 경기에서 선수는 다양한 구질을 생성하고 그 구질에 따라 라켓의 각도와 속도를 고려하여 타구해야 정확한 리시브가 가능하다. 경기는 선수의 서브로부터 시작되며, 첫 리시브에서 서브의 구질과 방향을 예측하는 것은 매우 중요하다. 무엇보다도 탁구에서 기술을 선택하기 위해서는 0.5초 이내의 빠른 예측이 필요하며, 구질을 선택하여 동작을 수행하는 시간은 1초 이내로 이루어진다(Raab et al., 2005).

예측을 위한 정보는 대부분 시각을 통해 습득하게 되는데 (Williams et al., 2004), 선수는 상대에게서 얻을 수 있는 다양한

시각 정보를 통해 효율적이고 유용한 정보를 빠르게 획득한다(Mann et al., 2007).

시각과 관련된 연구에서는 선수들이 운동 수행에 필요한 시각 정보를 어디서 그리고 언제 습득하고 예측하는지 분석하기 위해 시간차단 기법(temporal occlusion technique)을 사용하였다(Abernethy & Russell, 1987). 시간차단 기법은 상황에 따라 다르게 구분되며, 영상의 일정한 구간 및 시간을 차단하여 일정 시간 동안 제시되는 시각 자극을 통해 수행 예측과 중요한 정보를 탐색할 수 있다. 그뿐만 아니라 선행연구는 다이내믹한 상황에서 선수가 어떠한 정보에 시선 이동이 되는지 확인하기 위해 안구 움직임 기록을 분석하기도 하였다(Martell & Vickers, 2004).

대부분 숙련된 운동선수는 올바른 선택과 반응을 위해 외부 환경에서 시각을 통해 원하는 정보만을 바라보며 선택적 주의(selective attention)를 하게 된다. 이러한 과정을 시각탐색(visual search)이라고 한다. 시각탐색은 운동 수행이나 과제 처리에 있어 효율적인 정

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

보치러가 가능하며, 운동 숙련성의 차이를 설명하는 데 중요한 역할을 한다. 효과적인 시각탐색이 운동 수행에 있어 절대적으로 중요하다는 것이 고려되면서(Abernethy, 1993; Davids et al., 2005), 다양한 종목에서 숙련성에 따른 시각탐색 연구가 활발하게 진행되고 있다(Song, Li, & Han, 2023).

예를 들어, 태권도(Cho, 2024; Yoo et al., 2022), 축구(Choi & Song, 2018), 농구(Jin et al., 2023) 등의 시각탐색 연구가 있다. 이러한 연구에서는 숙련자는 초보자보다 적은 시선 고정 빈도와 긴 시선 고정 시간을 보이며 효율적인 시각탐색을 보인다는 결과가 주를 이루고 있다. 구체적인 예로 Piras et al.(2016)의 탁구 연구에서는 숙련자가 초보자보다 적은 시선 고정 빈도와 긴 시선 고정 시간의 시각탐색을 보였으며, 포핸드(forehand) 드라이브 기술에 비해 백핸드(backhand) 드라이브 기술에서 응답할 때 더 적은 시선 고정 빈도와 긴 시선 고정 시간을 갖는 것을 발견하였다.

아울러, Vaeyens et al.(2007)의 축구 연구에서는 선수가 패스를 받는 과정에서의 시각탐색을 분석하였다. 연구 결과, 우수한 의사결정 기술을 가진 선수는 공을 갖고 있는 선수에게 시선이 고정되며 다른 선수와 함께 전체적인 환경 상황을 파악하여 다음 상황을 예측하였지만, 상대적으로 우수하지 않은 선수는 전체적인 경기 상황을 살펴보기 위해 선수와 선수 사이의 공간 영역을 주시하여 시선 이동이 빈번한 차이가 나타났다.

이 연구들은 숙련된 선수들이 낮은 시각탐색 빈도를 보인 이유가 처리해야 할 시각 정보의 양을 줄이거나, 화면의 일관된 지각 표상(perceptual representation)을 만들기 위함이며, 이를 통해 다음 상황을 예측하는 데 충분하다는 것을 시사하였다(Piras et al., 2016; Vaeyens et al., 2007).

이처럼 상대의 움직임을 예측하여 빠르고 정확하게 반응하는 능력은 숙련된 선수들에게 두드러지며, 특히 라켓 스포츠와 같이 빠른 렐리가 특징인 스포츠에서 더욱 중요하게 나타난다(Abernethy et al., 2001). 탁구는 선수들이 매우 짧은 시간 내에 어떤 동작을 수행할지 결정해야 하는 전형적인 스포츠로, 선수들은 상대방의 라켓-공 접촉 이전에 수집한 정보를 바탕으로 상대의 스트로크를 예측하게 된다(Rodrigues et al., 2002). 탁구에서 숙련자는 진행 중인 행동에 대한 관련 정보를 관찰하기 위해 효율적인 시각탐색을 보이며, 상대방의 행동 결과(예: 서브 구질)를 예측하는 데 더 빠르고 정확한 반응을 나타낸다(Ripoll & Latiri, 1997).

그리고 항상 적은 시선 고정 빈도와 긴 시선 고정 시간을 갖는 시각탐색이 효율적인 시각탐색이 아닐 수 있다(Roca et al., 2011). 운동과제와 수행목표 등에 따라 다른 시각탐색 전략이 요구될 수 있다. 예를 들어 Han et al.(2012)의 농구 심판에 관한 시각탐색 연구에서는 숙련된 농구 심판의 경우, 반칙 상황에 따라 시선 고정 시간의 차이가 나타났는데 특히 원거리 반칙 상황과 공과 관련 없는 반칙 상황일 때, 짧은 시선 고정 시간이 나타났고, 이 외에도 숙련된 심판은 공격자와 수비자도 모두 주시하는 반면, 비 숙련 심판의 경우 대부분 공격자에 대한 시선 고정이 주를 이룬 것으로 나타났다. 따라서 시각탐색 전략이 반응 유형과 선수 및 과제의 특성에 영향을 받기 때문에 다양한 과제를 통한 시각탐색 연구가 필요하다(Klostermann et al., 2020; Raab & Johnson, 2007).

한편, 선행연구에서는 시선 데이터를 시각화하여 독자들이 쉽게 이해할 수 있도록 다양한 방법을 모색하고 있다. 그 중 대표적인 시각화 자료가 히트맵(heat map)이다. 히트맵은 시선 영역을 얼마나

오랫동안 응시하였는지 대략적으로 파악이 가능하다. 그러나 히트맵의 활용은 시선 움직임에 대한 정량화된 지표와 시선의 분산 정도를 분석하는데 한계가 있다. 이와 같은 한계점을 해결하기 위해 엔트로피 개념을 도입하여 시선의 주의와 분산 정도를 파악하기 위해 여러 연구가 진행되었다(Lee, Hong, & Jung, 2022; Lee, Jung, & Lee, 2022). 그중 대표적인 변인이 시선 엔트로피(gaze entropy)이다.

시선 엔트로피는 인지적 부하와 시각탐색을 평가하는 유용한 도구로 주목받고 있다(Ebeid et al., 2018). 시선 엔트로피는 시선의 이동 패턴이 예측 가능한지, 불가능한지를 나타내며 주의 집중도, 인지 과정, 시각탐색 행동 등을 이해하는 데 중요한 정보를 제공할 수 있는 장점이 있다. 높은 시선 엔트로피값은 시선이 다양한 관심 영역과 폭넓은 정보를 습득함을 의미하고, 낮은 시선 엔트로피값은 특정 영역에 집중하며 시선 이동이 제한적임을 나타낸다. 시선 엔트로피에 대한 선행연구를 살펴보면, Jungk et al.(1999)은 마취사들을 대상으로 환자의 혈류를 검사하기 위해 세 가지 종류의 디스플레이(Ecological, Profilogram, Trend)를 관찰하면서 환자의 혈류를 정상 수치가 되도록 하는 과제를 수행하게 하였고 이에 대하여 과제 실패율과 시선 엔트로피의 관계를 분석하였다. 그 결과, Trend 디스플레이에서는 과제 실패율과 시선 엔트로피가 가장 높게 나타났으며, 반대로 Ecological 디스플레이에서는 과제 실패율과 시선 엔트로피가 가장 낮게 나타났다. 이를 통해 이해하기 쉬운 디스플레이일수록 낮은 시선 엔트로피를 보이며 혈류 조치 과제에 좋은 성과가 나타남을 시사하였다.

Bhavsar et al.(2017)는 공장 조종실의 인지행동을 이해하기 위해 화학 관련 산업의 제어실 운전제에 대한 성공한 집단과 실패한 집단의 시선 엔트로피를 분석하였다. 그 결과, 과제에 성공한 집단은 실패한 집단보다 정형화된 시선 특성을 보이며 낮은 시선 엔트로피를 나타냈다.

Ebeid et al.(2018)는 브랜드 인식 대한 인지 연구를 통해 브랜드를 인지한 피험자는 브랜드를 인지하지 못한 피험자보다 높은 시선 엔트로피값이 나타난다고 보고하였다. 이처럼 선행연구에서는 과제의 난이도나 인지 정도에 따라 시선 엔트로피의 차이가 나타나는 것을 발견하였으며, 이는 시선 엔트로피가 시각적 정보처리 과정에서의 인지적 차이를 분석하는 유용한 지표로 활용될 수 있음을 시사한다.

마찬가지로 스포츠와 관련된 연구에서도 숙련성에 따른 시선 엔트로피의 차이를 분석한 사례가 있다. 예로, Song & Han(2021)은 볼링 과제에서 숙련자와 초보자의 시선 엔트로피를 분석하였다. 그 결과, 숙련자는 에임 스폿과 가이드 스폿을 중심으로 적은 시선 엔트로피를 보였으며, 초보자는 핀을 중심으로 다양한 단서와 함께 높은 시선 엔트로피의 차이를 나타냈다.

그리고 Ryu et al.(2018)는 배드민턴 서브 과제를 통해 숙련자가 초보자보다 다양한 시각 단서를 활용하여 배드민턴 서브를 수행하며, 높은 시선 엔트로피를 나타낸다고 보고하였다. 이 외에도 배드민턴 서브 성공 여부(Song, Ryu, & Han, 2023), 농구(Ryu et al., 2016) 등의 시선 엔트로피를 활용한 연구들이 있지만, 스포츠와 관련하여 시선 엔트로피를 분석한 연구는 매우 제한적이다.

특히, 탁구와 같은 빠른 반응이 요구되는 스포츠에서는 시각탐색과 같은 시각 정보처리 능력이 경기 성과에 중요한 역할을 하지만 탁구에서의 시선 엔트로피 분석 연구는 상대적으로 부족하다. 더욱이 탁구 서브 리시브는 경기의 흐름을 좌우하는 중요한 기술로, 선수의 시각탐색과 그에 따른 시선 엔트로피를 분석하는 것은 경기력 향상에 대한 중요한 통찰을 제공할 수 있다.

따라서 본 연구는 탁구 서브에 대한 리시브 상황에서 숙련성과 시간차단 구간에 따른 시선 엔트로피의 차이를 분석하고, 히트맵을 활용하여 시각탐색의 차이를 확인하고자 한다. 본 연구를 통해 숙련자와 초보자의 시각탐색 차이를 더 명확히 이해하고 효율적인 시각탐색 전략을 규명함으로써 훈련 프로그램 개발에 기여하고 여러 스포츠 종목에서 시선 엔트로피의 적용 가능성을 높이길 기대한다.

연구방법

연구 대상

본 연구에서는 같은 환경에서 과제를 수행할 수 있도록 해당 실험실에 직접 방문이 가능한 탁구 숙련자를 연구대상자로 모집하였다. 본 연구의 목표를 달성하기 위해 모집 가능한 숙련자는 6명이었고, 초보자 집단도 동일하게 6명으로 구성하였다. 상대적으로 적은 샘플 크기에도 불구하고, 시각탐색 연구에서는 유의미한 차이를 검출할 수 있다는 선행 연구가 있었으며(Park et al., 2014; Kim & kim, 2012; Song, Ryu, & Han, 2023), 이에 따라 본 연구에서도 6명의 집단 구성이 연구에 적합하다고 판단하였다.

구체적으로 숙련자 집단은 10년 이상의 탁구 선수 혹은 지도자 경험이 있는 대상자이며, 초보자 집단은 탁구에 대한 기본적인 상식이나 경험은 있으나 동호인대회 참여 경험이 없는 대상으로 구성하였다. 연구대상자들의 경력과 나이 특성은 <Table 1>과 같다.

실험 도구

1. 안구움직임 추적 장치

과제 수행에서 연구대상자의 안구 움직임 기록을 분석하기 위해 안구움직임 추적 장치(Ergoneers, 독일)를 사용하였다(Figure 1). 안구움직임 추적 장치는 고글 형태로 착용할 수 있으며 시각 각 40-90°의 범위까지 촬영이 가능하다. 해상도 1920 × 1080(Full HD)

Table 1. Characteristic of subjects (Mean ± SD)

	Experts (n=6)	Novices (n=6)
Age (years)	27.16 ± 8.32	27.66 ± 7.53
Experience (years)	14.50 ± 4.68	2.00 ± 0.89



Fig. 1. Eye tracker

로 촬영이되며 연구대상자의 양안을 측정할 수 있다. 연구대상자의 안구움직임은 샘플링 주파수 60Hz로 시선 초점은 1°이내의 십자선(2.5px)으로 기록되었다.

2. 선택반응 패드(Response pad)

본 연구에서는 과제 수행에서 정확한 선택반응시간 측정을 위해 1ms의 빠른 반응시간을 확보할 수 있는 선택반응 패드(Cedrus, 미국)를 사용하였다. 선택반응 패드는 <Figure 2>와 같으며, 서브 길이가 짧다고 예측되면 탑(top) 버튼, 길다고 예측되면 바텀(bottom) 버튼을 사용하였다.

3. 과제 영상 및 프로그램(Task video and program)

탁구 서브 영상은 경력 6년 이상의 탁구 선수가 커트 서브를 넣는 장면이며, 동일한 자세로 반복하여 수행한 동작을 구간별로 편집 재생하였다.

시간차단 구간은 아래와 같이 구분하였다.

- T1: 상대 선수가 서브를 넣기 위해 라켓이 공에 닿는 순간
- T2: 상대 선수가 서브를 넣은 공이 탁구대에 처음 닿는 순간
- T3: 선수가 서브를 넣은 공이 네트에 넘는 순간

영상은 숏 서브와 롱 서브 각 3개의 영상을 각 구간 별로 나누어 18개의 영상을 준비하였으며, 동일하게 두 번 측정하여 총 36개의 영상에 대한 선택반응과 시각탐색을 측정 분석하였다.

실험 장면은 <Figure 3>과 같으며 선택반응을 측정하기 용이한 Super lab(Cedrus, 미국) 프로그램을 이용하여 과제 영상이 제시되었다.

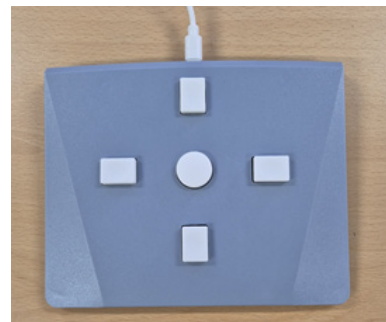


Fig. 2. Response pad

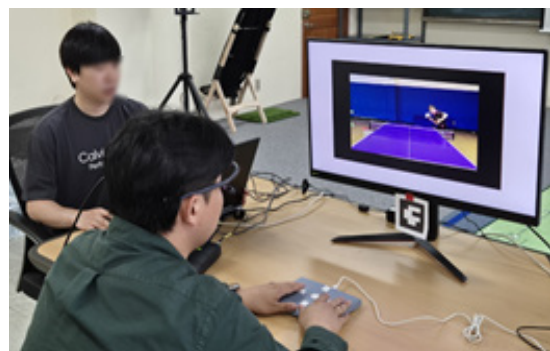


Fig. 3. Experiment task

Table 2. Experiment procedure

<ul style="list-style-type: none"> · Expert meeting for experimental video recording - Setting criteria for filming angles, levels of temporal occlusion, video selection, and video editing
▽
<ul style="list-style-type: none"> · Selection of research participants - Assessing the table tennis performance and knowledge of skilled and novice participants
▽
<ul style="list-style-type: none"> · Calibration of eye movement tracking device · Conducting 4 practice trials
▽
<ul style="list-style-type: none"> · Experiment - Performing 36 choice reaction tasks to predict the length of table tennis serves presented in the video
▽
<ul style="list-style-type: none"> · Data analysis and processing · Interpreting the results

실험 과제 및 절차

본 연구는 J대학교 생명윤리심의위원회의 연구승인받고 실험을 진행하였다(File No.: JBNU 2024-06-010).

실험은 같은 장소에서 연구대상자 개별로 참여하였다. 구체적인 실험 절차는 다음과 같다. 먼저, 실험자는 실험 전 연구대상자로부터 신경학적, 감각적 이상 유무를 파악하고 참여 동의를 받았다. 연구대상자는 실험 중 측정에 영향을 받을 수 있는 눈을 작게 뜨거나 머리를 과도하게 움직이는 등의 주의사항과 실험 방법에 대해 설명 받았다. 그리고 실험 과정에서 얻게 되는 연구대상자의 개인 정보는 연구 외에는 사용되거나 노출되지 않음을 공지받았다. 실험자는 실험 참여 중 연구대상자에게 신체적·정신적 이상이 발생하거나 피로할 경우 충분한 휴식을 제공할 것이고 연구대상자가 원한다면 실험 참여를 중단할 수 있다는 것을 알렸다.

과제는 모니터 앞에 앉아서 Eye tracker를 착용하고 모니터에서 제시되는 서브 영상을 보고 공의 길이가 짧은지 긴지를 예측하여 선택 반응 패드 중 Top(짧은 서브) 혹은 bottom(긴 서브) 패드를 누르는 것이다.

과제를 시작하기 전 연구대상자의 시선과 D-lab 소프트웨어의 시선을 보정하였다. 보정 과정은 연구대상자가 Eye tracker를 착용한 후, 실험자가 실시간으로 관찰할 수 있는 노트북 화면의 십자선과 연구대상자의 시선이 일치하게 하였다. 구체적으로 연구대상자의 머리는 가만히 있게 하고 안구의 움직임으로만 정면에 있는 모니터 모서리의 좌상, 우상, 우하, 좌하를 순차적으로 보게 하였고, 실험자의 지시에 따라 연구대상자의 시선이 움직이는지 재차 확인하였다. 보정이 완료되면, 연구대상자는 연습 시행으로 각 4개의 서브 영상을 보고 반응 패드를 누르는 과제를 수행하였다. 연습이 끝나고 연구대상자가 본 실험에 대한 준비가 되면 본 시행으로 36개의 영상에 대한 선택 반응하는 과제를 수행하였다. 영상의 순서는 서브 길이와 시간 차단 구간에 대해서는 무작위 하게 구성되었으며 각 연구대상자에게 제시된 영상의 순서는 같다.

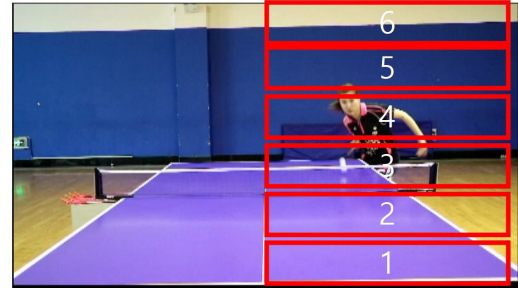


Fig. 4. Area of interest

자료 분석

탁구 서브 리시브 과제의 선택반응시간 및 판단 정확성, 히트맵 그리고 시선 엔트로피를 분석하였다.

1. 선택반응시간 및 판단 정확성

선택반응시간은 영상이 제공되고 영상이 끝난 후, 선택반응 패드를 누른 순간으로 기록되었다. 선택반응시간 단위는 1ms(0.001초) 단위로 하였다.

2. 히트맵 분석

히트맵 분석은 D-lab(Ergoneers, 독일) 소프트웨어를 사용하여 2.5px, 800ms를 기준으로 진하기 표시(빨강)가 되도록 설정하였다.

3. AOI 분석

AOI(Area of Interest)는 시선 엔트로피를 분석하기 위한 관심 영역 지점이다. AOI는 Krejtz et al.(2014)의 연구를 참고하여 독립적 AOI로 설정되었다. 스포츠 심리학 박사 두 명과 탁구 전문가 한 명이 히트맵 분석 결과를 검토한 후, 회의 끝에 화면에서 리시브에 필요한 단서가 있는 1/2부분에서 AOI를 동일하게 6개의 영역으로 설정하였다(Figure 4).

1) 시선 고정 빈도

시선 고정 빈도는 지정된 AOI 지점에서 시선이 3°이내에서 100ms 이상 고정된 평균 횟수이다.

2) 시선 고정 시간

시선 고정 시간은 지정된 AOI 지점에서 시선이 3°이내에서 100ms 이상 고정된 평균 시간이다.

4. 시선 엔트로피 분석

1) 샤넌 엔트로피 분석

본 연구에서는 샤넌 엔트로피(shannon entropy) 산출 방법을 사용하였다. 샤넌 엔트로피는 단순 AOI의 응시 횟수만을 계산하기 때문에 좀 더 효율적인 산출이 가능하다(Shiferaw et al., 2019).

수식은 아래와 같다. 여기서 N은 동일한 발생확률을 갖는 실현 가능의 대안의 수이며, i 는 대안의 발생확률을 말한다. AOI(Area of Interest)에 대한 응시 확률로 계산하여 시선 엔트로피값을 산출하였다.

$$H = - \sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i \tag{1}$$

2) 상대 엔트로피 분석

샤던 엔트로피는 AOI의 응시 횟수와 시선 이동을 기반으로 값이 산출되기 때문에 AOI의 개수에 큰 영향을 받는데, 따라서 AOI 개수에 의한 영향을 배제 표준화 작업을 제시하여, 상대 엔트로피값으로 기준을 맞추어 엔트로피를 비교할 필요가 있다(Gu et al., 2021). 시선 엔트로피의 AOI값이 다른 경우(0인 경우), AOI의 개수에 영향을 받는다. AOI의 개수에 따른 영향을 배제하기 위해 표준화 작업을 위한 상대 엔트로피값을 적용하여 계산할 수 있다. 상대 엔트로피는 실제 엔트로피가 발생 가능한 최대 엔트로피를 나눈 값이다. 상대 엔트로피는 0과 1 사이의 값으로 나타나며, 1에 가까울수록 시선이 분산됨을 의미한다. 수식은 아래와 같다.

$$H_{re} = \frac{H}{H_{max}} \tag{2}$$

통계 처리

통계 처리는 독립변인 숙련성(숙련자, 초보자)과 시간차단 구간(T1, T2, T3)에 따라 종속변인인 선택반응시간, 판단 정확성, 시선 엔트로피에 대하여 반복 측정된 이원 분산분석(Two-way repeated measure ANOVA)을 실시하였고, 각 시간차단 구간에서 숙련성과 AOI(1, 2, 3, 4, 5, 6)에 따른 시선 고정 빈도와 시선 고정 시간에 대해서도 반복 측정된 이원 분산분석을 실시하였다.

구형성 가정이 검증되지 않은 경우에는 Greenhouse-Geisser 수정을 적용하였다. 각 요인별 주 효과가 있을 경우에는 Bonferroni의 사후 검정을 실시하였다. 측정된 모든 변인들의 값은 SPSS PC+ for Windows (version 27.0) 통계 프로그램을 사용하여 이때 모든 분석의 통계적 유의 수준은 .05로 설정하였다.

연구결과

본 연구는 탁구 숙련성과 시간차단 구간에 따른 서브 길이 판단에서 반응 시간, 판단 정확성 및 시선 엔트로피의 차이, 그리고 숙련성과 AOI에 따른 히트맵, 시선 고정 빈도, 시선 고정 시간을 분석하였다. 결과는 다음과 같다.

반응시간

반응시간에 대한 분석 결과(Table 3, Figure 5), 숙련성[F(1, 10) = 8.460, $p < .05$, $\eta_p^2 = .458$], 시간차단 구간[F(1.109, 11.091) = 43.366, $p < .01$, $\eta_p^2 = .813$]에 따라 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 구체적으로 구간이 길어질수록 반응시간이 빨라지는 것으로 나타났다($p < .01$). 그러나 숙련성 × 시간차단 구간의 상호작용[F(1.109, 11.091) = .168, $p > .05$, $\eta_p^2 = .017$]에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

Table 3. Reaction time of expertise and levels of temporal occlusion (Unit: ms, Mean ± SD)

	N	T1	T2	T3
Expert	6	896.72 ± 136.92	694.68 ± 44.59	449.18 ± 50.06
Novice	6	1090.54 ± 292.86	836.39 ± 80.28	593.17 ± 26.36

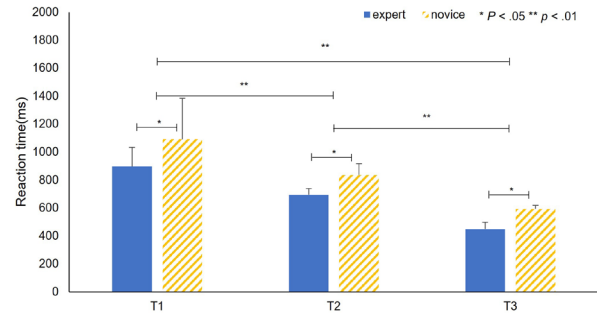


Fig. 5. Reaction time

Table 4. Reaction accuracy of expertise and levels of temporal occlusion (Unit: %, Mean ± SD)

	N	T1	T2	T3
Expert	6	45.83 ± 11.49	73.61 ± 6.27	87.5 ± 6.97
Novice	6	47.22 ± 10.09	41.67 ± 9.13	68.06 ± 12.27

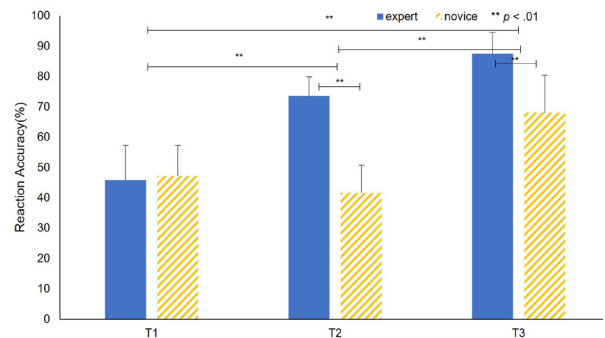


Fig. 6. Reaction accuracy

판단 정확성

판단 정확성 결과(Table 4, Figure 6), 숙련성[F(1, 10) = 30.280, $p < .01$, $\eta_p^2 = .752$], 시간차단 구간[F(2, 20) = 30.850, $p < .01$, $\eta_p^2 = .755$], 숙련성 × 시간차단 구간의 상호작용[F(2, 20) = 8.715, $p < .01$, $\eta_p^2 = .466$] 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 상호작용에 대한 사후 검정 결과, T1에서는 숙련성 간 유의한 차이가 나타나지 않았으나($p > .05$), T2와 T3에서는 숙련자가 초보자보다 높은 판단 정확성을 나타냈다($p < .01$).

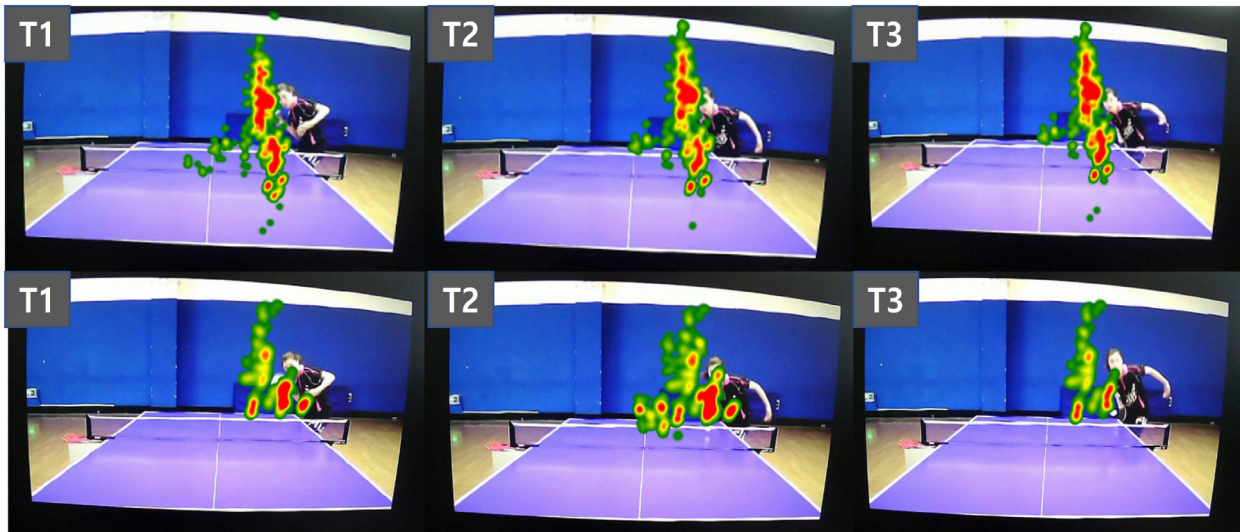


Fig. 7. Heat map(top: novice, down: experts)

히트맵 분석

히트맵 분석은 시각적 정보를 직관적으로 제공하여 연구 결과를 이해하기 쉬울 수 있다. 본 연구에서는 <Figure 7>과 같이 히트맵 분석을 하였다. <Figure 7>은 초보자와 숙련자 집단 각각에서 한 명씩 선정하여 안구 움직임 기록한 히트맵 분석 자료이다. 먼저 히트맵 분석을 살펴보면 시간차단 구간에 따라 다른 영상이지만, 숙련성에 따라 유사한 시각탐색이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그리고 숙련자는 상대 선수의 라켓과 공이 만나는 지점에서 긴 시선 고정(빨강)이 되는 반면 초보자는 공이 움직이는 방향에 따라 위 아래 전체적으로 긴 시선 고정이 나타난 걸 확인할 수 있었다.

AOI 분석

숙련성과 AOI에 따른 시간차단 구간별 시선 고정 빈도(Table 5, Figure 8)와 시선 고정 시간(Table 6, Figure 9)의 결과는 다음과 같다.

먼저 시선 고정 빈도에 대한 결과를 보면, T1과 T3에서는 숙련성에 따른 시선 고정 빈도에 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > .05$). 그러나 T2에서는 숙련성에 따라 시선 고정 빈도에 유의한 차이가 나타났다 [$F(1, 10) = 7.490, p < .05, \eta_p^2 = .428$].

또한, AOI에 따른 시선 고정 빈도 결과는 T1 [$F(1.976, 19.758) = 17.595, p < .01, \eta_p^2 = .638$], T2 [$F(5, 50) = 5.988, p < .01, \eta_p^2 = .375$], 및 T3 [$F(2.580, 25.801) = 10.114, p < .01, \eta_p^2 = .503$]에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

숙련성과 AOI에 대한 시선 고정 빈도의 상호작용에서도 T1 [$F(1.976, 19.758) = 4.667, p < .05, \eta_p^2 = .318$], T2 [$F(5, 50) = 9.141, p < .01, \eta_p^2 = .478$], T3 [$F(2.580, 25.801) = 5.018, p < .01, \eta_p^2 = .334$] 모두에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

다음 시선 고정 시간에 대한 결과, T1 [$F(1, 10) = 10.050, p < .05, \eta_p^2 = .501$]과 T2 [$F(1, 10) = 5.311, p < .05, \eta_p^2 = .347$]에서 숙련성에

따른 시선 고정 시간에 대해서 유의한 차이가 나타났다. 그러나 T3에서는 차이가 나타나지 않았다($p > .05$).

또한, AOI에 따른 시선 고정 시간 결과는 T1 [$F(5, 50) = 56.947, p < .01, \eta_p^2 = .851$], T2 [$F(1.658, 16.576) = 6.705, p < .05, \eta_p^2 = .401$], 및 T3 [$F(1.623, 16.227) = 14.042, p < .01, \eta_p^2 = .584$]에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

숙련성과 AOI에 대한 시선 고정 시간의 상호작용에서는 T1 [$F(5, 50) = 30.458, p < .01, \eta_p^2 = .753$]에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다, T2와 T3에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > .05$).

시선 엔트로피

시선 엔트로피 분석 결과(Table 7, Figure 10), 숙련성 [$F(1, 10) = 62.907, p < .01, \eta_p^2 = .863$], 시간차단 구간 [$F(1.283, 12.831) = 4.695, p < .05, \eta_p^2 = .320$]에 따라 유의한 차이가 나타났다. 구체적으로 시간차단 T3에서 T1보다 높은 시선 엔트로피를 나타냈다 ($p < .05$). 그러나 숙련성 \times 시간차단 구간의 상호작용 [$F(1.283, 12.831) = 8.44, p > .05, \eta_p^2 = .078$]에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다.

논 의

본 연구는 숙련성과 시간차단 구분에 따른 탁구 서브 길이를 예측하기 위한 시선 엔트로피의 차이를 분석하고 히트맵을 활용하여 그 차이를 확인하고자 하였다. 따라서 시선 엔트로피와 히트맵 분석 결과에 대한 논의에 중점을 두고자 한다.

히트맵은 연구대상자의 시각탐색 결과를 알기 쉽게 나타내 줄 수 있는 시각화 자료이다(Lee, Jung, & Lee, 2022). 특히, 시각적 주의의 집중 영역과 탐색 패턴을 명확하게 표현할 수 있어, 연구 결과를 해석하는데 유용하다.

Table 5. Fixation frequency by expertise and AOI across Levels of temporal occlusion (Unit: n, Mean ± SD)

		1	2	3	4	5	6
T1	Expert	0	0	.17 ± .41	4.83 ± 2.14	3.00 ± 2.37	1.17 ± 1.17
	Novice	0	.33 ± .52	4.33 ± 1.75	3.83 ± 1.17	3.50 ± 2.81	1.50 ± .84
T2	Expert	0	0	.17 ± .41	.67 ± .82	3.67 ± 1.37	3.17 ± 2.40
	Novice	1.17 ± 1.17	1.67 ± .82	2.83 ± 1.17	2.50 ± 1.05	2.50 ± 1.05	.17 ± .41
T3	Expert	0	0	.50 ± .84	4.50 ± 2.74	3.67 ± 1.03	3.67 ± 2.34
	Novice	1.00 ± 2.00	2.33 ± 2.80	3.50 ± 1.52	4.17 ± 2.40	3.33 ± 1.86	1.17 ± .98

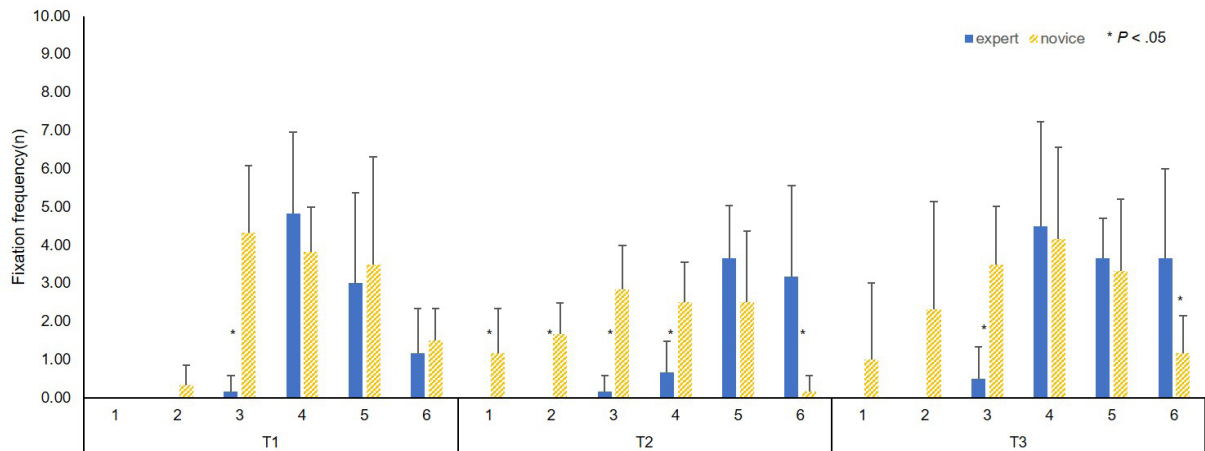


Fig. 8. Fixation frequency

Table 6. Fixation duration by expertise and AOI across Levels of temporal occlusion (Unit: ms, Mean ± SD)

		1	2	3	4	5	6
T1	Expert	0	0	41.50 ± 101.65	431.00 ± 65.71	137.50 ± 85.74	45.00 ± 35.34
	Novice	0	29.17 ± 45.50	86.50 ± 11.59	105.00 ± 14.79	107.17 ± 6.24	86.83 ± 12.83
T2	Expert	0	0	75.33 ± 184.53	237.33 ± 263.08	342.83 ± 151.40	90.67 ± 25.28
	Novice	45.17 ± 39.92	88.83 ± 26.87	90.17 ± 20.08	129.50 ± 52.83	119.50 ± 77.96	16.33 ± 40.01
T3	Expert	0	0	262.17 ± 406.15	567.67 ± 120.36	239.67 ± 81.18	77.17 ± 22.17
	Novice	28.67 ± 45.85	141.17 ± 70.74	264.33 ± 96.01	272.83 ± 132.22	275.37 ± 130.09	58.00 ± 52.43

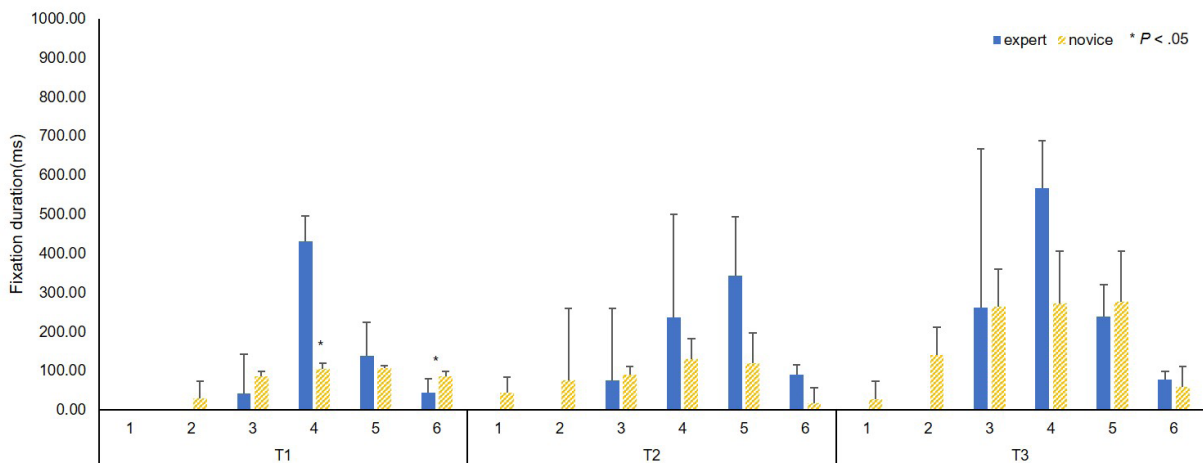


Fig. 9. Fixation duration

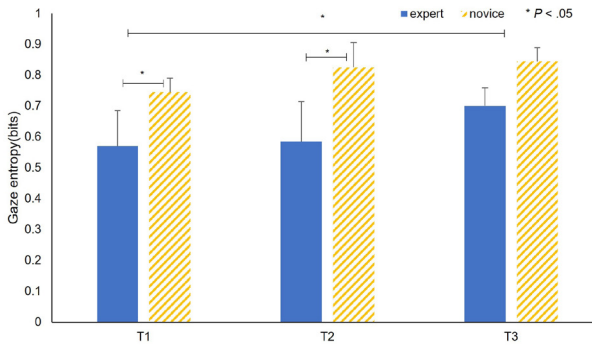


Fig. 10. Gaze entropy

Table 7. Gaze entropy of expertise and Levels of temporal occlusion (Unit: bit, Mean ± SD)

	N	T1	T2	T3
Expert	6	.57 ± .12	.58 ± .13	.70 ± .06
Novice	6	.74 ± .05	.82 ± .08	.85 ± .04

히트맵 분석 결과, 숙련자와 초보자의 시각탐색에 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다. 초보자는 공의 움직임을 따라 시선이 이동하며 세 구간(T1, T2, T3)에서 유사한 시각탐색을 보였으며, 전체적으로 숙련자보다 높은 시선 엔트로피를 나타냈다. 그러나 숙련자는 T1, T2, T3 구간에서 상대의 라켓 영역에 시선이 집중된 시각탐색을 보였고 초보자보다 낮은 시선 엔트로피를 나타냈다.

탁구 경기에서는 성공된 운동 수행을 위해서 상대의 스윙 방향, 라켓 각도, 라켓이 공을 떠나는 지점을 관찰하는 것이 아주 중요하다 (Hardin, 2014). 그러므로 숙련자는 탁구 경기에서 서브의 길이를 파악하기 위해서 공의 움직임을 따라가지 않고 상대의 라켓에 대한 정보를 집중적으로 받아들이는 시각탐색을 나타낸 것으로 판단된다. 이 결과는 Lee et al.(2008)의 사격 연구와 유사한 결과로 볼 수 있는데 사격에서 숙련자는 수행 조건에 필요한 목표지점에 시선이 집중되는 반면, 비 숙련자의 경우 권총의 움직임에 따라 시선이 이동하면서 넓은 영역에서의 안구의 빠른 움직임(saccade)이 이루어지는 것과 같은 맥락을 하고 있다.

흥미롭게도 히트맵 분석 결과를 살펴보면 초보자는 모든 시간차단 구간에서 네트 앞쪽의 AOI 2, 3 영역(네트 및 리시브 지점)에 시선이 고정된다. 이 경우 초보자가 상대의 서브 길이를 예측하기 위해 공의 방향을 시각적으로 그리는 것으로 파악할 수 있다. 즉 초보자는 영상이 끝난 후에도 공의 방향을 시각으로 그리면서 예측하여 서브의 길이를 판단하는 반면, 숙련자는 공이 라켓에 맞는 순간까지를 보고 반응한 것으로 판단된다. 따라서 T1, T2, T3 모든 영역에서 숙련자와 초보자 간의 시각탐색 차이가 나타났으며, 숙련자가 더 빠른 반응 시간을 보였다. 이를 통해 시각탐색은 숙련자의 인지적 특성일 수 있으며 빠른 정보처리 능력과 정확한 의사결정을 나타낼 수 있는 원인으로 말할 수 있다(Wright et al., 2010).

그뿐만 아니라 숙련자는 초보자보다 전체적으로 낮은 시선 엔트로피를 나타냈다. 시선은 어떤 상황을 예측하거나 수행할 때 방해 자극과 단순한 자극에 쉽게 옮겨질 수 있다(Yantis, 2000). 자극에

시선이 이끌리게 되면 시선 엔트로피는 증가할 수 있기에, 낮은 시선 엔트로피는 수행자의 집중력으로도 말할 수 있다(Song & Han, 2021). 수행자는 올바른 선택반응을 위해서 필요한 정보와 목표 자극을 정확히 탐지하고 한정된 정보처리 과정을 효율적으로 사용해야 한다(Pashler et al., 2001).

예를 들어, 볼링 연구(Song & Han, 2021)에서는 숙련자가 예입 스포트를 중심으로 낮은 시선 엔트로피를 보였으며, 초보자는 핀을 중심으로 다양한 단서를 바라보며 숙련자보다 높은 시선 엔트로피를 보이는 차이를 발견하였다. 그리고 농구 연구(Marques et al., 2021)에서도 성인 숙련자와 어린 비 숙련자(U-16)에 대한 점프슛을 할 때의 시선 엔트로피 값을 분석한 결과, 성인 숙련자가 어린 비 숙련자보다 낮은 시선 엔트로피의 값을 나타내며 성인 선수들이 더 집중적이고 일관된 시각탐색을 가지고 있음을 발견하였다. 이 같은 결과는 숙련자가 가지고 있는 낮은 시선 엔트로피가 효율적인 시각탐색 결과를 반영하고 있음을 알 수 있다.

또한 본 연구에서는 연구대상자가 운동 수행에 필요한 정보를 예측하기 위해 수행에 유용한 시각 정보를 어디서, 언제 예측하는지를 확인하기 위해 시간차단 구간에 따라 시선 엔트로피를 분석하였다. 비록 숙련성과 시간차단 구간에 따른 상호작용 차이는 나타나지 않았지만, 숙련자의 시선 엔트로피는 T1과 T2보다 시간적 정보가 긴 T3에서 유의적으로 높게 나타났다. 이는 시간차단 구간에 따라 서브 길이에 예측에 필요한 시간적 정보가 상대적으로 많아지기 때문에 과제 난이도가 낮아져 라켓에 대한 시선 엔트로피가 높아진 것으로 사료된다.

다시 말해, 본 연구에서 히트맵 분석과 AOI 분석을 고려해 봤을 때, 숙련자는 T1과 T2에서 서브의 길이를 예측하기 위한 시간정보가 다소 부족하여 라켓에 시선을 고정하여 방향을 예측하고자 하는 시각탐색 전략이 나타났으며, 이에 히트맵에서 라켓 영역은 빨갭게 넓고 진하게 나타났으며, 이는 적은 시선 고정 빈도와 긴 시선 고정 시간, 그리고 낮은 시선 엔트로피를 반영한 결과이다. 반면, T3 구간에서는 제공되는 시간정보가 많아지면서 라켓에 대한 시선 고정이 줄어들고, 이에 따라 높은 시선 엔트로피가 나타났다.

더욱이 시선 엔트로피는 숙련자의 특성으로 상황과 난이도에 따라 변화가 크게 나타나는 특성을 보인다(Ryu et al., 2016). 예를 들어 Raptis et al.(2017)는 도형 분석을 잘하는 집단의 경우 어려운 도형 분석 과제에서 낮은 시선 엔트로피를, 쉬운 과제에서는 높은 시선 엔트로피를 보였다고 보고하였다. 반면, 도형 분석이 미흡한 집단은 쉬운 과제나 어려운 과제 모두에서 높은 시선 엔트로피를 나타냈다. 이처럼 본 연구에서도 숙련자는 시간정보가 많아지는 T3 시선 엔트로피가 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

결론 및 제언

본 연구에서는 탁구 서브에 대한 리시브 상황에서 숙련성과 시간차단 구간에 따른 시선 엔트로피의 차이를 분석하고 히트맵을 활용하여 그 차이를 확인하고자 하였다. 그 결과 탁구 서브를 예측하기 위해 숙련자는 초보자보다 적은 시선 엔트로피를 보이며, 라켓 영역에 시각적 주의를 두어 상대 선수의 서브를 예측한 반면, 초보자는 라켓 보다는 공에 대한 정보에 더욱 시각적 주의를 기울이며 높은 시선 엔

트로피를 보이며 상대 서브를 예측하였다.

따라서 탁구 지도자는 초보자를 지도할 때, 서브 리시브 상황에서는 상대의 공에 시선이 끌리지 않고 상대의 탁구 라켓을 지속적으로 시선 고정하도록 하여 상대의 서브 길이를 예측하고 올바른 리시브 판단을 할 수 있도록 지도할 필요가 있다.

추후 연구에서는 다양한 스포츠 종목과 과제에 히트맵과 시선 엔트로피를 적용하여 연구대상자의 시각탐색 분석을 통해 구체적인 정보를 제공하여 연구의 다양성을 확대할 필요가 있다. 이러한 접근 방법은 숙련성과 시각적 주의, 그리고 의사결정의 다양한 시각탐색을 밝혀 숙련자의 성과와 훈련 방법에 대한 보다 깊이 있는 이해를 도울 것이다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: S.-H. Song, D.-W. Han, Data curation: S.-H. Song, Formal analysis: S.-H. Song, D.-W. Han, Methodology: S.-H. Song, D.-W. Han, Project administration: D.-W. Han, Visualization: S.-H. Song, Writing-original draft: S.-H. Song, D.-W. Han, Writing-review & editing: S.-H. Song, D.-W. Han

참고문헌

- Abernethy, B. (1993). Searching for the minimal essential information for skilled perception and action. *Psychological Research*, 55(2), 131-138.
- Abernethy, B., & Russell, D. G. (1987). The relationship between expertise and visual search strategy in a racquet sport. *Human Movement Science*, 6(4), 283-319.
- 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.
- Bhavsar, P., Srinivasan, B., & Srinivasan, R. (2017). Quantifying situation awareness of control room operators using eye-gaze behavior. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 191-201.
- Cho, H. S. (2024). Visual search strategies and anticipation ability comparison: focused on changes in foot techniques following the implementation of the multi-win system in taekwondo. *Journal of Sport for All*, 96, 469-481.
- Choi, T., & Song, Y. (2018). Visual search strategies in soccer attack situation on expertise levels. *Korean Journal of Sport Psychology*, 29(4), 87-96.
- Davids, K., Williams, A. M., & Williams, J. G. (2005). *Visual Perception and Action in Sport*. Routledge.
- Ebeid, I. A., Bhattacharya, N., & Gwizdka, J. (2018). Evaluating the efficacy of real-time gaze transition entropy. *Research Gate*, 1(1), 1-8.
- Gu, Z., Jin, C., Chang, D., & Zhang, L. (2021). Predicting webpage aesthetics with heatmap entropy. *Behaviour & Information Technology*, 40(7), 676-690.
- Han, D., Park, D., & Ryu, D. (2012). Differences of visual search strategies and actual perceived eye-focus locations on expertise levels of basketball referee. *Korean Journal of Sport Psychology*, 23(4), 305-320.
- Hardin, C. (2014). *Racket angle. Samson Dubina table tennis academy*. <https://www.samsondubina.com/coaching/racket-angle>
- Jin, P., Ge, Z., & Fan, T. (2023). Research on visual search behaviors of basketball players at different levels of sports expertise. *Scientific Reports*, 13(1), 1406.
- Jungk, A., Thull, B., Hoefft, A., & Rau, G. (1999). Ergonomic evaluation of an ecological interface and a profilogram display for hemodynamic monitoring. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 15, 469-479.
- Kim, C., & Kim S. (2012). Visual search strategies and anticipation ability between expert and novice taekwondo players. *Korean Journal of Sport Psychology*, 23(3), 61-70.
- Klostermann, A., Vater, C., Kredel, R., & Hossner, E. J. (2020). Perception and action in sports. On the functionality of foveal and peripheral vision. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1, 66.
- Krejtz, K., Szmidt, T., Duchowski, A. T., & Krejtz, I. (2014). Entropy-based statistical analysis of eye movement transitions. *In Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 159-166.
- Lee, S., Kim, S., & Park, S. (2008). The change of visual search strategies on performance time constrain and air pistol shooting expertise. *Korean Journal of Sport Science*, 19(4), 192-203.
- Lee, Y., Hong J. P., & Jung, K. T. (2022). A basic study on the use of gaze entropy in the emotional interaction process. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 23(5), 92-101.
- Lee, Y., Jung, K. T., & Lee, H. C. (2022). Use of gaze entropy to evaluate situation awareness in emergency accident situations of nuclear power plant. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(4), 1261-1270.
- Mann, D. T., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(4), 457-478.
- Marques, R. C., Mendes, R. S., Martins, F. M., Gomes, R. M., Coelho-E-Silva, M. J., & Dias, G. N. (2021). Gaze behaviour in basketball jump shot: differences between expert and non-expert athletes. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 43(1), 85-96.
- Martell, S. G., & Vickers, J. N. (2004). Gaze characteristics of elite and near-elite athletes in ice hockey defensive tactics. *Human Movement Science*, 22(6), 689-712.
- Park, I., Ji, J., & Park S. (2014). Differences in visual search and decision-making across expertise levels of rugby referee. *Korean Journal of Sport Psychology*, 25(1), 13-27.
- Pashler, H., Johnston, J. C., & Ruthruff, E. (2001). Attention and performance. *Annual Review of Psychology*, 52(1), 629-651.
- Piras, A., Lanzoni, I. M., Raffi, M., Persiani, M., & Squatrito, S. (2016). The within-task criterion to determine successful and unsuccessful table tennis players. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 11(4), 523-531.
- Raab, M., & Johnson, J. G. (2007). Expertise-based differences in search and option-generation strategies. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13(3), 158.
- Raab, M., Masters, R. S., & Maxwell, J. P. (2005). Improving the 'how' and 'what' decisions of elite table tennis players. *Human Movement Science*, 24(3), 326-344.
- Raptis, G. E., Fidas, C. A., & Avouris, N. M. (2017). On implicit elicitation of cognitive strategies using gaze transition entropies in pattern recognition tasks. *In Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1993-2000.
- Ripoll, H., & Latiri, I. (1997). Effect of expertise on coincident-timing accuracy in a fast ball game. *Journal of Sports Sciences*, 15(6), 573-580.
- Roca, A., Ford, P. R., McRobert, A. P., & Mark Williams, A. (2011). Identifying the processes underpinning anticipation and decision-making in a dynamic time-constrained task.

Cognitive Processing, 12, 301-310.

- Rodrigues, S. T., Vickers, J. N., & Williams, A. M. (2002).** Head, eye and arm coordination in table tennis. *Journal of Sports Sciences*, 20(3), 187-200.
- Ryu, D., Mann, D. L., Abernethy, B., & Poolton, J. M. (2016).** Gaze-contingent training enhances perceptual skill acquisition. *Journal of Vision*, 16(2), 2-2.
- Ryu, D., Song, S., & Han, D. (2018).** Visual search strategies in badminton serve on expertise levels. *Korean Journal of Sport Science*, 29(2), 362-375.
- Shiferaw, B. A., Crewther, D. P., & Downey, L. A. (2019).** Gaze entropy measures detect alcohol-induced driver impairment. *Drug and Alcohol Dependence*, 204, 107519.
- Song, S., & Han, D. (2021).** Gaze entropy on expertise in a bowling performance. *Korean Journal of Sport Psychology*, 32(1), 111-120.
- Song, S., Li, M., & Han, D. (2023).** A bibliometric analysis of research trends on visual search in Sports. *Korean Journal of Sports Psychology*, 34(3), 149-165.
- Song, S., Ryu, D., & Han, D. (2023).** Visual search strategies in badminton serve: expertise and performance(success or failure) perspective. *Korean Journal of Sport Science*, 34(2), 259-269.
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., Mazyn, L., & Philippaerts, R. M. (2007).** The effects of task constraints on visual search behavior and decision-making skill in youth soccer players. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(2), 147-169.
- Williams, A. M., Janelle, C. M., & Davids, K. (2004).** Constraints on the search for visual information in sport. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2(3), 301-318.
- Wright, M. J., Bishop, D. T., Jackson, R. C., & Abernethy, B. (2010).** Functional MRI reveals expert-novice differences during sport-related anticipation. *Neuroreport*, 21(2), 94-98.
- Yantis, S. (2000).** Goal-directed and stimulus-driven determinants of attentional control. *Attention and Performance*, 18(3), 73-103.
- Yoo, H., Song S., & Han D. (2022).** Visual search on expertise level and counterpart's ready position in taekwondo. *Taekwondo Journal of Kukkiwon*, 13(4), 13-22.

탁구 숙련성과 시간차단 구간에 따른 상대적 시선 엔트로피 분석

송석현¹, 한동욱²

¹전북대학교 체육연구소 전임연구원

²전북대학교 스포츠과학과 교수

[목적] 본 연구의 목적은 탁구 서브 리시브를 위한 숙련성과 시간차단 구간에 따른 시선 엔트로피의 차이를 분석하고, 히트맵을 활용하여 시각탐색의 차이를 확인하는 것이다.

[방법] 연구대상자는 숙련자 집단(n=6)과 초보자 집단(n=6)으로 구성하였다. 과제는 모니터 앞에 앉아서 Eye tracker를 착용하고 모니터에서 제시되는 36개의 서브 영상을 보고 공의 길이가 짧은지 긴지를 예측하여 선택 반응 패드 중 Top(짧은 서브) 혹은 bottom(긴 서브) 패드를 누르는 것이다.

[결과] 전체적으로 시간차단 구간이 늦을수록 빠른 반응시간과 높은 판단 정확성을 나타냈다. 숙련자는 초보자보다 시간차단 구간 2와 3에서 높은 판단 정확성을 보였다. 히트맵과 시선 엔트로피를 분석한 결과, 초보자는 T1, T2, T3 모든 영역에서 공에 대한 시각적 주의를 보이는 시각탐색을 보이며 높은 시선 엔트로피를 보였다. 숙련자는 전체적으로 시간차단 구간에 따라 라켓 영역에 시각적 주의를 보였다. 그리고 T1과 T2에서는 낮은 시선 엔트로피를 보였으며, T3에서는 시선 엔트로피가 높아졌다.

[결론] 본 연구에서는 탁구 서브를 예측하기 위해서 숙련자는 초보자보다 적은 시선 엔트로피를 보이며, 라켓 부분에 시선 고정성이 되는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 초보자는 라켓보다는 공에 대한 정보에 더욱 시각적 주의를 기울이는 것을 확인하였다.

주요어

시선 엔트로피, 탁구, 숙련성, 시간차단, 선택반응, 히트맵