creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

체육학 석사 학위논문

공의 속도에 따른 테니스 포핸드 드라이브 스윙 전략

2022년 8월

서울대학교 대학원

체육교육과 인간운동과학

최 윤 석

공의 속도에 따른 테니스 포핸드 드라이브 스윙 전략

지도교수 박 재 범

이 논문을 체육학 석사 학위논문으로 제출함
2022년 8월

서울대학교 대학원
체육교육과
최 윤 석

최윤석의 석사 학위논문을 인준함
2022년 8월

위 원 장 김 선 진 (인)

부위원장 안 주 은 (인)

위 원 박 재 범 (인)

국문초록

공의 속도에 따른 테니스 포핸드 드라이브 스윙 전략

최윤석

서울대학교 대학원

체육교육과

현대 프로 테니스 경기에서 포핸드 드라이브 스트로크는 서브 다음으로 경기 결과를 결정하는 중요한 요소이며, 그 사용 빈도는 가장 높다. 이 연구의 목적은 이러한 포핸드 드라이브 동작이 날아오는 공의 속도에 따라 어떻게 달라지는지를 운동학적 변인들을 기반으로 보고자 하였다. 연구 참여자는 현역 대학 테니스 선수 집단과 경력 3년 이하의 아마추어 동호인 집단으로 구분하였고, 날아오는 공의 속도 조건은 세 단계로 구성하였다. 자료 분석은 골반, 어깨, 상완, 손 총 네 분절의 움직임을 분석하였다.

속도와 상관없이, 집단 간의 차이를 보인 변인은 테이크백(takeback)에서 어깨와 상완의 각도, 포워드 스윙 동안의 상완의 각변위, 골반의 최대 각속도가 이루는 시점 그리고 상완의 최대 각속도이다.

집단에 상관없이 속도 간 차이를 보인 변인은 네 분절의 테이크백에서의 각도, 회전 시작 시점, 최대 각속도 시점이며, 골반과 어깨의 최대 각속도 역시 유의미한 차이를 보였다. 포워드 스윙 동안 각변위

의 경우 골반, 어깨, 상완에서 유의미한 차이를 보였다.

결론적으로 선수 집단과 초급자 집단은 집단 간 포핸드 스윙의 차이를 보임에도 속도에 따른 스윙 전략을 변화하는 양상은 대부분 유사하였다. 다만, 어깨의 경우에는 선수 집단이 초급자 집단에 비해 날아오는 공의 속도에 따라 더 선형적으로 스윙 전략을 변화시키는 능력이 뛰어남을 볼 수 있었다.

주요어 : 테니스, 포핸드, 속도, 선수, 초급자
학 번 : 2019-21138

목 차

제 1 장 서론 ····· 1
제 1 절 연구의 필요성 ····· 1
제 2 절 연구의 목적 ····· 3
제 3 절 연구 가설 ····· 4
제 4 절 용어의 정의 ····· 5
제 5 절 연구의 제한점 ····· 6

제 2 장 이론적 배경 ····· 8
제 1 절 Interceptive action ····· 8
제 2 절 근위부에서 원위부로 연속된 동작 ····· 10
제 3 절 운동 요소의 과잉 ····· 11

제 3 장 연구 방법 ····· 13
제 1 절 실험 참여자 ····· 13
제 2 절 실험 과제 ····· 14
제 3 절 실험 절차 ····· 16
제 4 절 실험 장비 ····· 18
제 5 절 분석 변인 ····· 19
제 6 절 통계 처리 ····· 22

제 4 장 연구 결과 ····· 23
제 1 절 선수 집단과 초급자 집단 간 차이 ····· 23

제 2 절 공의 속도에 따른 차이 ····· 27
제 3 절 공의 속도에 따른 집단 간 차이 ····· 39

제 5 장 논의 ····· 44
제 1 절 선수 집단과 초급자 집단 간 차이 ····· 44
제 2 절 공의 속도에 따른 차이 ····· 46
제 3 절 공의 속도에 따른 집단 간 차이 ····· 47

제 6 장 결론 및 제언 ····· 49
제 1 절 결론 ····· 49
제 2 절 제언 ····· 50

참고문헌 ····· 52

제 1 장 서론

제 1 절 연구의 필요성

현대 프로 테니스 경기에서 포핸드 스트로크는 서브 다음으로 경기 결과를 결정하는 중요한 요소이며, 경기 중에 가장 빈번히 행해진다(강상학, 2002; Johnson, C. D., & McHugh, M. P., 2006). 프로 선수들의 경기에서 서브가 가지는 중요성과 실험 및 분석의 편리성으로 인해, 서브에 관한 연구는 스트로크에 관한 연구보다 활발히 진행되어왔다(Elliot, B., et al, 2003; Reid, M., et al, 2008). 하지만 테니스는 기본적으로 공을 주고 받는 스포츠이며, 상대방 코트에 공을 보내는 행위는 포핸드 스트로크를 통해 가장 빈번히 이루어진다.

포핸드 스트로크의 스윙 동작에서, 특히, 포워드 스윙(forward swing)은 근위부에서 원위부로의 연속된 동작(Proximal to distal sequence)의 형태를 보인다. 단순히 어깨와 팔의 움직임만으로 스윙을 하는 것이 아닌, 지면 반력을 이용하기 위해(Shimokawa, R., et al, 2020) 골반부터 다리까지 사용한다. 그렇기 때문에 매우 다양한 신체 분절들이 포핸드 스트로크에 동시다발적으로 동원되며, 각각 정확한 시점에 움직임이 이루어지지 않으면 공을 정확하게 타격할 수 없다. 포핸드 스트로크 동작은 매우 복잡하며 올바른 시점에서 조금만 어긋나더라도 전혀 의도하지 않은 결과를 초래하기 때문에, 세계 정상급 선수들 역시 수많은 연습에도 불구하고, 잦은 실수를 범한다.

포핸드 스트로크는 Interceptive action의 한 가지 예시이다. Interceptive action이란 행위자와 물체, 지면, 도구 사이의 상대적인 움직임을 포함하는 활동으로 정의될 수 있다(Davids, K., 2002). 멀리뛰기에서 구름판을 밟는 행위, 공을 차는 행위, 날아오는 공을 잡는 행위 그리고 평행봉 체조 동작 후 지면에 착지하는 행위 등 모두가 그

예이다. 이러한 예 중 포핸드 스트로크는 특히, 타격자가 날아오는 공에 대한 정보를 빠르게 인지한 후, 정확한 위치와 시점에 라켓이 도달하도록 스윙을 해야 한다. 피타격 물체인 테니스 공은 다양한 속도와 궤적으로 타격자를 향해 날아오며, 타격자의 신체가 아닌 라켓이라는 도구를 이용하여 정확하게 타격하여야 하기에 다른 interceptive action과 비교했을 때, 상대적으로 더 복잡하고 어려운 동작이다.

글러브로 야구공을 잡는 행위처럼 타격 주체가 공을 향해 뻗어 나갈 필요 없는 동작과는 달리, 테니스 스트로크 동작은 공을 강하게 타격하여 앞으로 보내야 한다. 라켓이 공을 타격하기 위해 회전하는 방향과 반대 방향으로 하체와 상체를 회전시켜 테이크백(takeback) 자세를 취한 뒤, 뒤에서 앞으로 라켓을 가속하면서 공을 타격하도록 포워드 스윙을 한다. 이때, 포워드 스윙과 테이크백 동작에는 신체 여러 분절들이 관여하게 되며, 타격자가 이러한 분절들을 각각 어떻게 움직일지 결정하여 행동하는 것을 타격자가 선택한 스윙 전략이라고 볼 수 있다. 이러한 스윙 전략의 선택 요소에는 각 분절들의 테이크백시 각도, 포워드 회전 시작 시점, 포워드 회전 동안의 각변위 그리고 포워드 회전 동안의 최대 각속도 등이 있다. 타격자는 날아오는 공의 상황에 따라 적합하다고 판단하는 스윙 전략을 취할 것이다. 전략적 선택을 통해 타격자는 준비 자세에서 타격 순간까지 라켓이 이동하는 시간을 조절할 수도 있고, 공을 타격하는 힘도 조절할 수 있다. 단순히 공을 타격하는 힘뿐만 아니라, 각 분절의 회전이 라켓의 속도에 기여하는 정도를 조절할 수도 있다. 타격자는 현 상황에 있어, 본인이 취할 수 있는 전략 중 적합하다고 판단되는 전략을 사용할 것이며, 상황에 맞는 적절한 스윙 전략은 성공적인 포핸드 드라이브를 위해 필수적이다.

포핸드 스트로크에서 타격시 라켓의 위치, 라켓의 속도, 타격 시점 등의 과제 수행 변인(performance variable)보다 동원되는 구성 변인(elemental variable)의 수가 많기 때문에, 수행자는 이를 전략적으로 조절함으로써 더 안정적이거나 위력적인 결과물을 만들어낼 수 있다.

예를 들어, 상황에 따라, 같은 궤적으로 라켓을 회전시키면서도 근위부 분절들의 사용을 제한하고 이를 보상하기 위해 원위부 분절들을 더 적극적으로 사용할 수 있다.

선행 연구들은 주로 시간에 대한 압박이 없는 조건으로 볼머신으로부터 공을 발사시키고, 연구 참여자로 하여금 full swing 또는 최선의 스트로크를 행할 것을 지시하였다(Carboch, J., et al, 2014, Knudson, D. V., & Blackwell, J. R., 2005). 선행 연구들은 이러한 실험 조건에서 그립의 종류에 따른 운동학적 변인들의 차이 또는, 스탠스에 따른 운동학적 변인들의 차이(Busuttil, N. A., et al, 2020; Bahamonde, R. E., & Knudson, D., 2003)에 대해 살펴보았다. 본 연구는 시간의 압박에 따라 연구 참여자들이 어떻게 스윙 전략을 변화시키는지를 신체 분절들의 운동학적 변인들을 통해 살펴보았다. 이때 시간의 압박은 볼머신에서 발사되는 공의 속도를 통해 제어하였으며, 테니스 경험의 정도가 이러한 전략 선택에 어떠한 영향을 끼쳤는지에 대해서도 살펴보았다.

제 2 절 연구의 목적

본 연구의 목적은 크게 세 가지로 볼 수 있다. 첫째, 공의 속도와 상관없이 선수 집단과 초급자 집단의 포핸드 드라이브 스윙의 운동학적 변인 차이를 밝히는 것이다. 둘째, 공의 속도가 증가함에 따라, 집단에 상관없이 전체 연구 참여자들이 보이는 스윙의 운동학적 변인 차이를 살피는 것이다. 마지막으로, 선수 집단과 초급자 집단의 경험 차이가 날아오는 공의 속도에 따른 스윙 변화에 어떠한 영향을 끼치는지 살펴보는 것이다.

공의 속도에 따른 스윙 차이를 통해, 테니스 포핸드 드라이브에서 시간의 압박이 스윙의 형태를 어떻게 변화시키는지 정량적으로 파악할 수 있으며, 이를 통해 테니스 포핸드 드라이브와 같이 복잡한 형태의 interceptive action에서 시간의 압박에 따라, 분절들의 움직임이 어떻게

변화하는지 알 수 있다. 또, 선수 집단의 스윙 전략이 이상적이라는 전제하에 집단 간 차이와 상호작용 결과는 추후 초급자 집단이 포핸드 드라이브를 효과적이고 효율적으로 학습하는데 있어서 중요한 자료로 활용될 수 있다.

제 3 절 연구 가설

1) 테니스 경험이 스윙 전략에 끼치는 영향

1-1. 선수 집단은 초급자 집단에 비해 신체 분절을 더 큰 각도로 활용할 것이다.

1-2. 선수 집단은 타격 시점과 신체 분절의 최대 각속도 시점의 시간차가 초급자 집단에 비해 작을 것이다.

1-3. 선수 집단의 신체 분절 최대 각속도는 초급자 집단에 비해 더 클 것이다.

2) 공의 속도가 스윙 전략에 끼치는 영향

2-1. 공의 속도에 따라 근위 분절과 원위 분절은 평행하지 않은 변화를 보일 것이다.

2-2. 공의 속도가 증가함에 따라 분절의 회전 시작 시점, 최대 각속도 시점이 타격 시점에 더 가까워질 것이다.

3) 테니스의 경험이 공의 속도에 따른 스윙 전략에 끼치는 영향

3-1. 선수 집단은 초급자 집단에 비해 공의 속도에 따라 더 선형적으로 스윙을 변화시킬 것이다.

제 4 절 용어의 정의

1) 테이크백 (takeback)

스트로크를 통해 공을 타격할 때, 타격자는 준비 자세에서 몸통이 라켓을 쥐고 있는 손의 방향을 바라보게(오른손으로 라켓을 쥔 경우, 몸통이 오른쪽을 바라보도록) 회전시키면서 라켓을 뒤로 가져가는데 이를 테이크백 동작이라고 한다. 타격자는 테이크백 동작을 통해, 신체 분절과 라켓이 가속할 수 있는 공간을 확보할 수 있다.

2) 포워드 스윙(forward swing)과 포워드 회전(forward rotation)

테이크백 동작 후, 타격자는 테이크백의 반대 방향으로 신체 분절들과 라켓을 폭발적으로 회전시키면서 공을 타격한다. 이때 테이크백이 끝난 시점에서 라켓이 공을 타격하는 순간까지를 포워드 스윙으로 보았다. 스윙 전반에서의 포워드 스윙과 비슷한 개념으로 각 분절의 포워드 회전은 분절들이 공을 타격하는 순간의 라켓 회전 방향과 일치하는 방향으로 회전하는 움직임을 의미한다.

3) 골반선(pelvis alignment), 어깨선(shoulder alignment)

골반선과 어깨선은 각각 골반과 어깨의 회전을 정량화하기 위하여 설정한 선이다. 골반선은 골반 양쪽의 대전자(greater trochanger)를 이은 선이며, 어깨선은 양쪽 어깨의 견봉(acromion)을 이은 선을 의미한다.

4) 근위부(proximal)와 원위부(distal)

근위부와 원위부는 해부학적 방향과 관련된 용어로서, 특히

사지에서의 상대적인 방향을 표현하는데 주로 사용된다. 근위부는 상대적으로 몸통 혹은 인체의 중심에 가까운 부위를 뜻하며, 원위부는 상대적으로 몸통이나 인체의 중심에서 먼 곳을 의미한다.

5) 절대각(absolute angle) 및 상대각(relative angle)

본 연구에서는 절대각과 상대각을 통해 각 분절의 각 움직임을 기술하고 있다. 절대각이란 분절이 이루는 각도를 글로벌 좌표계(global coordinate system)의 관점에서 기술한 것이며, 골반과 어깨의 경우 절대각으로 자료 분석을 진행하였다. 상대각이란 해당 분절과 해당 분절이 접하고 있는 근위 분절과의 상대 각도를 의미한다. 본 연구에서 상완과 손의 경우는 상대각으로 자료 분석을 진행하였다.

6) 수평면(transverse plane)으로의 투영(projection)

본 연구에서는 각 신체 분절들의 수직축에 관한 회전을 살펴보고자 하였다. 이를 위하여 각 신체 분절들의 3차원 정보를 수평면으로 투영하여 2차원 정보를 생성하고 이 정보를 활용하여 자료 분석을 진행하였다. 수평면이란 신체를 상부와 하부로 양분하는 가상의 면을 의미한다.

제 5 절 연구의 제한점

본 연구는 다음과 같은 제한점을 가진다.

1) 실험 구상 단계에서는 라켓에 부착한 마커를 통해, 라켓의 선 속도와 각 신체 분절이 라켓의 선 속도에 끼치는 기여도에 대한 분석을 진행하려 하였지만, 빠른 라켓 속도 때문에 타격 시점 근처에서 라켓에 부착한 마커들이 제대로 기록되지 않아, 위와 같은 자료에 대한 분석을 진행할 수가 없었다.

2) 테니스 공에도 네 군데에 반사 스티커를 부착하여, 시계열로 공의 위치를 기록하고자 하였으나, 공의 궤적이나 속도에 대해 신뢰할 수 있는 정도의 정보를 얻기에 부족함이 있어 본 연구의 분석 자료로 사용하지 못하였다. 따라서, 선수 집단이 초급자 집단에 비해 더 좋은 수행을 보였음을 정량적으로 제시하지 못했다.

제 2 장 이론적 배경

제 1 절 interceptive action

Interceptive action은 인지와 행동의 연결(perception-action coupling)이며, 생태심리학자들의 관점에서, 숙련된 interceptive action은 환경에 대한 정보의 변화에 맞춰 행동을 잘 조절하는 것이다(Savelsbergh, G. J., & Van der Kamp, J., 2000). 날아오는 공을 잡거나, 치는 행위와 같은 interceptive action을 성공적으로 하기 위해서는 수행자는 시간적, 공간적 특징에 대해 잘 이해하고 그에 맞춰 동작을 행해야 한다. 기본적으로 손이나 손을 통해 잡고 있는 물체의 궤적이 날아오는 물체의 이동 궤적과 교차해야 하고, 또한 타격 주체와 피타격 물체가 동시에 그 교차 지점을 지나가야 한다. 즉, 숙련된 포핸드 드라이브는 테니스 공이라는 환경의 변화에 따라 스윙을 잘 조절하는 것이라 볼 수 있다.

시점에 대한 문제는 물체가 관찰자에게 도달하는데 남은 시간을 기반으로 고려된다. 이러한 정보는 언제 interceptive action을 시작해야하는지 결정하는데 사용이 된다(Beek, P. J., et al, 2003). Interceptive action을 이해하기 위해 다양한 전략들이 제시되었는데, 그들 중 가장 뚜렷하게 구분되는 두 전략은 'predictive' 전략과 'prospective' 전략이다.

전자의 경우에는 초기 시각적인 정보를 통한 충돌이 일어날 시간과 장소에 대한 예측을 포함하고 있다. 가장 극단적인 예로는 충돌 시점에 대한 중요 정보에 입각하여 이미 설계된(pre-programmed) 행동을 시작한다는 것이다(Tyldesley, D. A., & Whiting, H. T., 1975). 야구에서의 타격과 같이 interceptive action이 빠르게 이루어져야 하는 경우 행동 조정을 하기에는 주어진 시간이 부족하기 때문에 이러한

전략이 사용될 것이라고 제시되었고(Beek, P. J., et al, 2003), 관련된 선행 연구는 제한된 시간 동안에만 공의 궤적에 대한 시각적 정보를 주었을 때도 과제를 수행함을 보였다(Brouwer, A. M., et al, 2002). 이러한 전략은 예측의 정확성에 따라 그 성과가 결정된다.

Prospective 전략은 물체에 대한 현재 정보를 받아들여서, 행동을 조정하는 것이다. 이를 뒷받침 하는 선행 연구 결과로는 매우 빠른 interceptive action도 물체에 대한 시각 정보에 의해 계속해서 영향을 받는다는 것이다(Smeets, J. B., & Brenner, E., 1995). Prospective 전략을 지지하는 결과로는 특정 공간으로 날아오는 공을 잡는 과제를 수행할 때, 손이 공을 잡는 지점에 미리 위치해 있더라도, 공을 잡기 위해 그 위치에서 벗어났다가 다시 돌아오는 모습을 보인다는 것이다(Montagne, G., et al, 1999). 이는 interceptive action이 인지 과정을 통해 이미 설계된 행동이라는 predictive 전략으로는 설명하기 어려운 결과이다. 아직 interceptive action에서 인간의 인지-행동의 연결과 어떤 전략을 어떻게 사용하는지에 대한 연구는 진행중이다. 또한, 크리켓에 관한 선행 연구에서 커브를 타격할 때는 공에 대한 불확실성 때문에, prediction 전략보다 perspective 전략의 사용 비중이 높고, 크리켓에 대한 경험이 많을수록, 공에 대한 정보를 충분히 얻기 전까지 스윙 시작을 지연시키는 경향을 보인다고 밝혔다(Sarpeshkar, V., et al, 2017).

Interceptive action의 통제에 대한 두 가지 모델이 있다. Short-route 모델은 인지 변인과 행동 변인의 연결에 대해 원인과 결과의 측면에서 설명한다. 하지만 이 모델은 interceptive action의 동적 특성들이 어떻게 다루어지는지에 대해서는 다루지 않는다. 하지만 long-route 모델은 관련 하위 체계의 구조와 관계에 대해 밝힌다. 하지만 아직 interceptive action을 완벽하게 설명할 long-route 모델은 만들어지지 않았다. Long-route 초창기 모델은 VITE 모델이다. 이 모델에서는 인간이 감각 정보를 통해 피타격 물체의 위치 파악하고 타격 주체와의 변위차를 고려하여 움직임을 조절하는 명령을 내린다고 이야기한다. 여기에 Tc

(time-to-contact)라는 변수를 모델에 추가함으로써 RVITE모델로 발전시켰고, 더 나아가 현재의 피타격 물체와 타격 주체의 속도까지 고려하는 RRVITE 모델로 최종 발전하였다. 이 모델은 본 연구에서 수평 방향의 속도를 공에 대한 독립 변수로 설정하는데 있어서 중요한 역할을 하였다.

제 2 절 근위부에서 원위부로 연속된 동작

통합된 행동(coordinated action)은 근육들이 조화롭게 활성화되어 만들어진 신체 분절들의 움직임들이 더해진 결과이다. 특히 야구에서 투구나 타격, 골프 타격, 배드민턴 하이클리어 동작은 물체를 타격하거나 던지는 목표를 가지고, 상지와 하지의 조화로운 움직임을 만들어야 한다. 이때 우리의 신체 중 원위 분절(distal segment)은 공간에서 자유롭게 움직일 수 있는데, 이러한 원위 분절의 가장 바깥 지점(distal end)은 행동의 최종 결과로 받아들일 수 있다(Putnam, C. A., 1993). 테니스와 같이 라켓을 들고 하는 스포츠에서는 라켓도 시스템에 포함시킬 수 있다. 이 경우 시스템에서 가장 바깥 지점은 라켓의 가장 바깥 부분이 될 것이다.

앞에서 언급했던 동작들은 근위부에서 원위부로 발전하는 형태(proximal to distal sequencing)를 보이는 움직임들이다. 특히 다관절(multi segment) 동작일수록, 이러한 형태의 움직임이 가지는 이점은 커진다. 속도의 총합(summation of speed) 원리(Bunn, J. W., 1972)에 따르면, 가장 바깥 지점의 속력을 최대화하기 위해서는 움직임이 가장 근위부에서 시작하여, 해당 부위의 속력이 최대가 되었을 때, 그 다음으로 바깥에 있는 신체 부위의 움직임이 시작되어야 하고, 그러면 바깥쪽 신체 부위는 이전 신체 부위에 비해 더 큰 속력에 도달할 수 있다. 이러한 움직임의 형태에 대해서 뒷받침하는 여러 선행 연구가 진행되었다(Joris, H. J. J., et al, 1985; Elliot, B., et al, 1986).

특히 관절 각속도는 이러한 근위부에서 원위부로 발전하는 형태의

움직임을 잘 설명해준다(Zajac, F. E., & Gordon, M. E., 1989). 최근에는 이러한 관절 각속도가 라켓의 선속도에 미치는 영향에 대해 알아보기 위한 연구가 진행되었다(Teu, K. K., et al, 2005).

테니스와 관련된 연구에서도 이러한 움직임의 형태에 대한 연구가 활발히 진행되었다. Johannes Landlinger(2010)는 ATP (Association of Tennis Professionals)선수들과 유소년 선수들을 대상으로 포핸드 스윙의 운동학적 변인들에 대한 분석을 진행하였다. 이 연구에서 두 집단 간 각 변위량에 대한 의미 있는 차이는 없었지만, ATP 선수 집단의 골반 최대 각속도 시점이 공의 타격 시점에 유의미하게 더 가까웠다. 이 연구에서는 두 집단 간 라켓의 수평 방향으로의 선속도 차이를 이것으로 설명한다. 이와 비슷한 결과는 야구 투구와 관련된 연구와 테니스 서브 관련된 연구에서도 찾아볼 수 있다(Aguinaldo, A. L., et al, 2007; Bahamonde, R. E., 2000). 하지만, Eliot, B.(2006)에 따르면, 정확성을 필요로 하는 테니스 발리와 같은 동작에서는 스윙에 기여하는 신체 분절의 수를 줄이고, 좀 더 하나의 분절처럼 움직인다. 이처럼 수행자는 상황에 따라 근위부에서 원위부로의 움직임 정도를 조절하여 전략적으로 행동할 것이다. 이는 테니스 스트로크에서도 동일할 것이라 생각한다.

지금까지의 테니스 연구는 시간의 압박이 없는 상황에서 근위부에서 원위부로의 연속된 동작을 이상적으로 최대한 이용할 때, 운동학적 변인들을 분석하였다면, 본 연구에서는 시간의 압박에 따라 이러한 전략이 어떻게 바뀌는지를 알고자 한다.

제 3 절 운동 요소의 과잉

인간의 몸은 큰 자유도를 가진 시스템이다. 인간의 몸은 많은 근육들로 구성되어있고, 이러한 근육들이 활성화됨에 따라, 움직임을 만들어낸다. 겉으로 보기에 단순해 보일지 모르는 움직임이라 할지라도, 상당한 수의 근육들이 동시다발적으로 제어되고 있다. 필요로 하는 최소한의 요소보다 더 많은 수의 요소들이 움직임에 개입하는 시스템은,

과잉(redundant) 시스템으로(Bernstein, 1967), 큰 자유도를 가진 우리의 몸은 일상적인 행동을 하는데 있어서 과잉 시스템으로 볼 수 있다.

선행 연구들은 이러한 자유도가 중추 신경계(central nerve system)에서 제어해야하는 주요한 문제로 바라보고 있고(심재근, 2011), 로봇 공학 분야에서는 시스템의 이러한 자유도를 줄이거나 제한하는 하는 방향으로 진행한 연구도 있다(Arimoto, S., et al, 2005). 최근 연구들은 이와 반대로, 과잉 시스템은 수행 변인들을 안정화시키기 위해 과잉된 자유도들이 서로 상호작용할 수 있는 시스템으로 보고 있다(Park et al, 2013). 이는 과잉된 요소들의 수를 줄여 최적화된 해를 찾는 앞의 관점과 다르게, 우리의 중추 신경계가 최적화된 해보다는 과제에 적합한 해의 집합을 이용한다는 것을 의미한다. 결국, 많은 자유도로 인해 발생하는 가변성이 오류를 발생시켜 수행 능력을 저하시킨다는 기존의 시선(Harris, C. M., & Wolpert, D. M., 1998)에서 오히려 움직임을 성공적으로 수행하기 위한 해결 방법으로 바라볼 수 있다는 점을 시사한다(Latash, M. L., 2000).

포핸드 스트로크 동작에서 예를 들자면, 상황에 따라 특정 신체 분절의 회전을 줄이면, 이를 보상하기 위해 다른 분절의 회전을 증가시키는 형태로 나타날 수 있다. 따라서, 이 연구는 포핸드 스트로크에 있어서 중추 신경계가 필요 이상으로 큰 자유도를 어떻게 제어하는지 살펴볼 것이다.

제 3 장 연구 방법

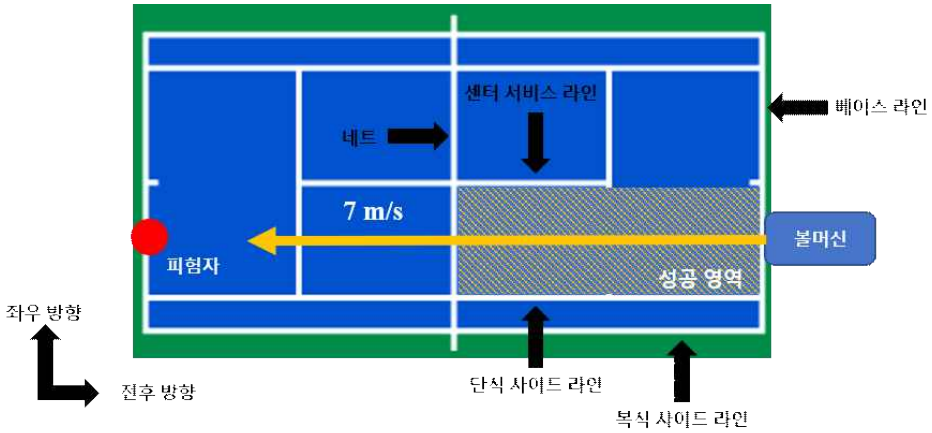
제 1 절 연구 참여자

본 연구의 참여자는 대한 테니스 협회에 정식 등록되어 있는 현역 대학 테니스 선수(Expert) 집단과 구력 3년 이하의 초급자(Novice) 집단으로 구성되어있다. 초급자 집단의 연구 참여자들은 사전 조건으로 정형화된 포핸드 스트로크 스윙을 할 수 있어야 한다. 많은 선행 연구들에서 초급자 집단의 기준을 테니스 경력(Rowe, R, et al, 2009), 혹은 National Tennis Rating Program(Nielsen, T. M., & McPherson, S. L., 2001)으로만 설정하였다. 하지만 이와 같은 기준만으로 집단을 구성하는 것은 주관적일 뿐만 아니라, 연구 참여자의 최소한의 테니스 능력을 보장하지 못한다. 본 연구는 날아오는 공의 난이도에 따른 스윙 전략의 차이를 보고자하므로, 쉬운 난이도에서도 과제 수행이 제대로 되지 않는 연구 참여자를 실험에 포함시키지 않기 위해 사전 실험을 통해 초급자 집단을 구성하였다.

사전 실험은 <그림 1>에서 볼 수 있듯이, 볼머신을 전후 방향으로는 베이스 라인, 좌우 방향으로는 한쪽 단식 사이드 라인과 센터 서비스 라인의 중간 지점에 위치시켰다. 연구 참여자는 볼머신기의 네트 반대편 베이스 라인에서 볼머신을 정면으로 마주 보고 준비할 것을 지시하였고, 공을 볼머신으로부터 네트에 수직인 방향으로 7m/s의 속도로 발사하였다. 연구 참여자에게는 포핸드 드라이브를 통해 날아오는 공을 네트 반대편의 성공 영역에 낙하하도록 타격할 것을 지시하였다. 성공 영역은 좌우 방향으로 볼머신에 가까운 단식 사이드 라인으로부터 센터 서비스 라인까지며, 전후 방향으로는 네트로부터 볼머신이 위치한 쪽의 베이스라인까지다. 실제 테니스 규칙과 마찬가지로, 라인에 공이 걸치는 경우도 성공으로 간주하였다. 이때 연구

참여자가 정확도를 위해 일반적인 포핸드 드라이브 스윙이 아니라 스윙 크기를 극도로 줄여 단순히 타격만을 하는 것을 막기 위해 본인의 평소 포핸드 스트로크 스윙대로 수행할 것을 지시하였다. 총 20번의 시도 중 80%인 16번 이상을 성공한 연구 참여자만 초급자 집단에 포함시켰다.

실험에 참여했던 선수 집단의 연구 참여자는 총 7명이었으며, 평균 구력은 약 10년이다. 초급자 집단은 총 6명의 연구 참여자로 구성되었으며 평균 구력은 약 1.8년이다.



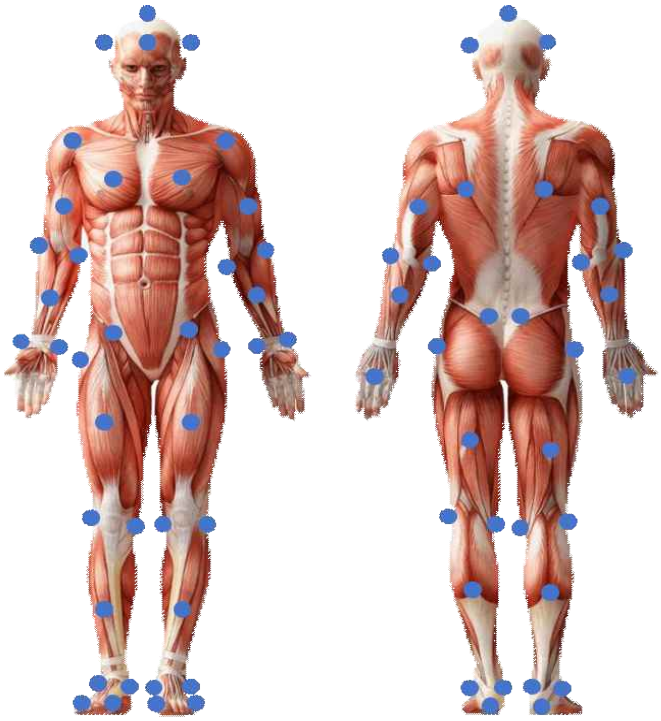
<그림 1> 사전 실험에 대한 실험 환경

제 2 절 실험 장비

1) 동작 분석 시스템(Motion Capture System)

연구 참여자의 각 신체 분절과 관절의 움직임을 측정하기 위해 동작 분석 시스템을 사용하였다. 역동적인 움직임에서 피부에 붙인 마커는 피부의 움직임으로 인해 부정확할 수 있으므로 연구 참여자들은 모두 본인에게 적합한 사이즈의 타이즈를 착용하고, 타이즈 위에 Helen-Hayes 마커 셋(그림 2)을 활용하여 직경 20mm 구형 반사 마커들을 부착하였다.

부착 위치는 이마 중앙, 머리 외측, 정수리, 견봉, 전상장골극, 후상장골극, 대퇴골대전자, 무릎 내측, 무릎 외측, 발목 내측, 발목 외측, 뒤꿈



<그림 2> 연구 참여자 신체에 부착한 반사 마커 위치

치, 발 내측, 발 외측, 팔꿈치 내측, 팔꿈치 외측, 손목 내측, 손목 외측, 손등이며, 측정 중에 카메라가 마커를 제대로 촬영하지 못한 경우를 대비하여 각 분절에 tracking marker들을 부착하였다. 이 외에도 라켓 헤드의 3시, 6시, 9시, 12시 부분에도 마커를 붙였다(그림 3). 라켓에 부착된 4개의 마커를 포함하여 총 60개의 마커가 사용되었다. 또한, 공의 궤도를 측정하기 위해 공에는 반사 스티커를 부착하였다. 카메라는 150Hz(150frame/sec)로 데이터를 수집하였고 총 8대의 적외선 카메라(Qualisys, Sweden)를 사용하였다(그림 4).

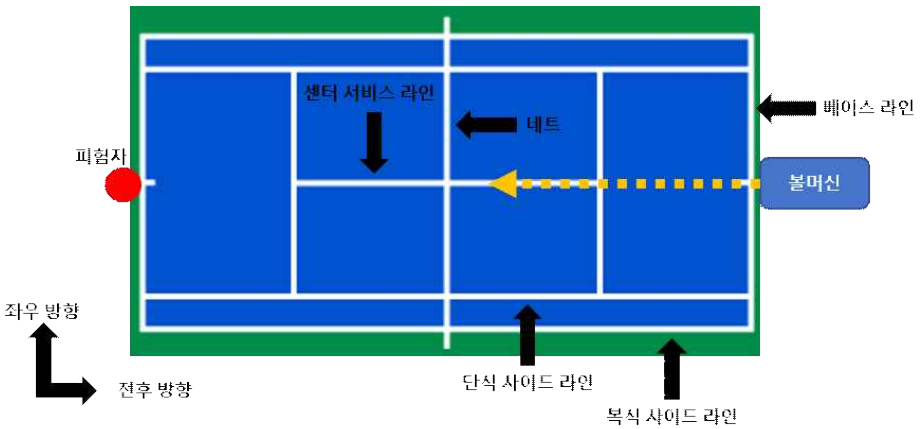
<그림 3> 실제 연구 참여자의 신체와 라켓에 마커를 부착한 모습

<그림 4> 연구 참여자의 과제 수행이 일어나고 측정하는 공간

제 3 절 실험 과제

본 실험의 과제는 <그림 5>과 같이 연구 참여자가 좌우 방향으로는 센터 서비스 라인, 전후 방향으로는 베이스 라인에서 준비 자세를 취한 뒤, 볼머신으로부터 날아오는 공을 자신의 평소 포핸드 드라이브 스윙을 통해, 다시 볼머신을 향해 타격하는 것이다. 볼머신의 위치는 연구 참여자가 위치한 곳의 네트 반대편이며, 좌우 방향으로는 센터 서비스 라인, 전후 방향으로는 베이스 라인에 맞춰 설치되었다. 준비 자세는

평소 스트로크 랠리 시 준비 자세와 일치하도록, 정면을 바라본 상태에서 양발은 어깨 너비로 벌린 자세이다. 이때, 연구 참여자로 하여금 가능한 정확하게 볼머신을 향해 타격하는 것이 가장 중요하지만, 본인의 평소 포핸드 드라이브 스윙의 형태를 크게 바꾸지 않는 선 내에서 가능한 강하게 볼을 타격할 것을 지시하였다. 이는 정확성을 위해, 제대로 된 스윙을 하지 않고 순간적인 타격에만 집중하여 스윙이 극도로 작아지면서 일반적인 포핸드 드라이브 스윙 자세를 벗어나는 것을 예방하는 차원의 지시이다.



<그림 5> 본 실험에 대한 실험 환경

일반적인 허리 높이의 공을 포핸드 드라이브 스트로크로 타격할 때는 타격 지점 근처에서 라켓 헤드가 네트가 위치한 방향과 지면에 수직 위쪽 방향으로 진행하게 된다. 그러나 어깨 높이 이상에 있는 공을 포핸드 스트로크로 타격할 때는 많은 경우 앞에서 언급한 일반적인 드라이브 스윙과는 달리 라켓 헤드가 타격 지점 근처에서 지면에 수평 방향 혹은 수직 아래 방향으로 향하는 형태의 플랫 스윙이 나타나게 된다(Blache, Y., et al, 2017). 이 경우 스윙시 나타나는 각 신체 부위와 관절의 활용 형태가 달라지기 때문에(Genevois, C., et al, 2018), 연구 참여자들에게 허리 높이에서 포핸드 드라이브 스윙으로 공을 타격하도록 지시하였다. 또한, 볼머신으로부터 발사되는 공이 빠른 경우 순간적으로 뒤로 물러날 만큼 시간적 여유가 없기 때문에 볼머신으로부터 발사된

공이 연구 참여자가 최초에 준비하고 있는 위치에 도달하였을 때, 연구 참여자의 어깨 높이 이상 올라가지 않도록 볼머신의 위치와 발사 속도 및 각도를 사전에 설정하였다. 실험을 진행하기 전 준비 단계에서 공의 속도를 각 속도 별로 10회씩 측정하였는데, 느린 속도 조건은 7.54±0.65m/s, 중간 속도 조건은 10.83±0.59m/s, 빠른 속도 조건은 14.42±0.50m/s로 측정되었다.

제 4 절 실험 절차

본 연구의 실험은 예열 운동과 본 실험으로 구성되었다. 예열 운동은 연구 참여자의 부상 방지와 연구 참여자가 실험 환경 및 날아오는 공에 적응할 수 있도록 하기 위함이다. 예열 운동으로 앞서 언급했던 세 가지 속도 조건에 대해서 각 속도 조건마다 10번의 연습을 제공하였고 연구 참여자가 해당 속도의 공을 타격하는데 어려움을 겪는 경우 추가적인 연습 기회를 제공하였다. 또한, 연구 참여자들은 본인이 평소 사용하는 라켓을 가지고 실험에 참여하도록 하였다.

실험의 구성은 세 개의 속도 조건이 각각 5번씩 포함된 총 15번의 타격이 하나의 세트를 이루며, 실험은 총 5개의 세트로 구성되어있다. 타격과 타격 사이에는 10초의 휴식 시간을 제공하였고, 세트와 세트 사이에는 5분의 휴식시간을 제공하였다. 본 연구는 연구 참여자가 날아오는 공의 궤도에 대한 정보를 받아들이고 인지 과정을 거친 뒤 어떠한 스윙 전략을 선택하는지를 알아보는 실험이기 때문에, 연구 참여자가 공에 대한 정보를 미리 알고 있으면 날아오는 공에 대한 정보를 스스로 인지하고 전략을 선택했다고 보기 어렵다. 따라서 한 세트 안에서 날아오는 공에 대한 순서는 MATLAB(MathWorks, USA)을 통해 사전에 무작위로 구성하였고 학습의 영향을 배제하기 위하여 한 명의 연구 참여자가 같은 순서 배열을 가지고 있는 세트를 두 번 이상 수행하지 않도록 하였다. 한 번의 발사 후, 다음 발사 속도 조건이 달라지는 경우, 볼머신의 설정을 버튼을 통해 변경하였다. 같은

속도 조건이 연속해서 주어진 경우는 따로 변경하지 않아도 되지만 이러한 경우 연구 참여자가 버튼음이 발생하지 않는 것을 통해 다음 조건이 같은 속도 조건임을 예측하는 것을 방지하기 위해, 같은 속도 조건이 두 번 연속으로 나오는 경우에도 버튼을 동작하여 연구 참여자가 예측하지 못하도록 하였다.

제 5 절 분석 변인

본 연구는 볼머신으로부터 날아오는 공을 포핸드 드라이브 스윙을 통해 타격할 때, 골반, 어깨, 상완, 손의 움직임을 운동학적 관점에서 살펴보았다. 특히, 수직축을 기준으로 분절들의 수평면에서의 회전을 살펴보기 위해, 마커의 3차원 위치 데이터를 수평면에 투영하여 2차원 데이터로 분석하였다.

골반은 양쪽 대퇴골대전자를 이은 직선(골반선), 어깨의 경우 양쪽 견봉을 이은 직선(어깨선)을 통해 각 분절이 global 좌표계의 수직축을 기준으로 보이는 수평면에서 회전 움직임을 살펴보았다. 이때 두 분절은 절대각을 통해 회전 움직임을 분석하였다.

상완과 손의 경우는 해당 분절의 근위 분절과 이루는 수평면 상의 상대 각도를 측정하여 각 분절의 움직임을 분석하였다. 예를 들어, 오른손 잡이의 상완 움직임은 오른쪽 견봉을 상완의 근위단으로 설정하고, 오른팔 팔꿈치 내측과 외측의 중심점(midpoint)을 원위단으로 설정하여 두 극단의 점을 연결한 직선이 어깨선과 이루는 수평면 상에서의 상대각을 통해 분석하였다. 같은 방식으로, 손의 움직임은 오른손 손등에 부착한 마커와 오른손 손목의 외측, 내측의 중심점을 이은 직선이 하완을 나타내는 직선(팔꿈치의 외측, 내측의 중심점과 손목의 외측, 내측의 중심점을 이은 직선)과 이루는 상대 각도를 통해 분석하였다.

분석 구간을 설정하기 위해 일차적으로 라켓이 공을 타격하는 시점을 설정하였다. 이는 날아오는 테니스 공과의 충돌이라는 외력에 의해 라켓 가속도가 크게 바뀔 것이라는 전제를 바탕으로, 라켓에 부착된 네

개 마커의 3차원 위치 데이터를 두 번 미분한, 가속도 값이 급격하게 변화하는 시점을 타격 시점으로 설정하였다. 이를 확인하기 위해, 앞에서 언급한 방법으로 찾은 타격 시점과 공과 라켓에 부착된 반사 스티커와 마커의 위치를 통해 얻은 타격 시점을 비교하였고 두 시점이 일치함을 보였다. 타격 시점은 본 연구에서 사용되는 분석 구간의 끝 시점이다.

분석 구간의 시작 시점은 포워드 스윙이 시작하는 시점이고, 이는 골반의 움직임을 기준으로 설정하였다. 수직축을 기준으로 하는 수평면 상에서의 회전 움직임을 바라보았을 때, 골반은 공을 타격하는 순간에 라켓의 회전 방향과 같은 방향으로 회전을 하고 있다. 이때 위와 같은 방향으로의 회전을 시작하는 시점을 해당 스윙의 포워드 스윙 시작 지점으로 설정하였다. 골반의 회전 시작을 스윙 전체의 포워드 스윙 시점으로 설정한 이유는 다른 분절들도 타격 순간에 라켓의 회전 방향과 동일한 방향으로 회전하고 있지만, 근위부에서 원위부로의 연속된 동작에 따라 골반, 어깨, 상완 그리고 손의 순서로 타격을 위한 회전이 시작되기 때문이다. 따라서 본 연구에서 분석하는 분절들 중에서 가장 먼저 타격을 위한 회전이 발생하는 분절인 골반의 회전을 포워드 스윙의 시작 기준으로 설정하였다.

공을 타격하기 위해 라켓의 회전 방향과 동일한 방향으로 각 분절들이 회전하는 움직임을 분절들의 포워드 회전이라 명명할 것이고, 아래 언급할 분석 변인들은 이러한 포워드 회전과 관련된 변인들이다. 각 분절들의 포워드 회전 시작은 분절 별로 각속도를 시계열로 나열한 뒤, 타격 시점으로부터 시간의 역순으로 찾아가면서 양의 각속도 값이 음수가 되기 직전의 프레임으로 설정하였다. 이때, 포워드 스윙에서 라켓의 회전 방향이 양의 회전 방향이다.

1) 테이크백 각도

테이크백 각도는 각 분절이 포워드 회전을 시작하는 순간의 각

도를 의미한다. 각 분절은 포워드 회전을 통해 공을 타격하는 힘에 기여하는데, 이때 포워드 회전을 할 수 있는 공간을 확보하기 위해, 테이크백 동작을 취하게 된다. 테이크백 각도를 크게 한다는 의미는 포워드 회전을 할 수 있는 공간을 더 크게 확보하기 위한 전략으로 이해할 수 있다. 단위는 degree를 사용하였다.

2) 최대 각속도

최대 각속도는 각 분절이 포워드 회전을 하는 동안의 최대 각속도 값이다. 각속도의 시계열 데이터를 보았을 때, 모든 분절에서 포워드 회전 시작 이후에 증가하다가 타격 시점 직전에 최대 각속도에 도달한 뒤, 감소하는 경향을 보였다. 전반적으로, 근위 분절에서 원위 분절로 갈수록 최대 각속도 값은 증가하는 경향을 보였다. 단위는 degree/second를 사용하였다.

3) 포워드 회전 각변위

포워드 회전 각변위란 각 분절이 포워드 회전을 하는 동안의 각변위를 이야기하며, 분절의 타격 시점 각도에서 테이크백 각도를 뺀 값이다. 단위는 degree이다.

4) Delta T1

Delta T1은 타격 시점과 포워드 회전의 시작 시점 간 시간차를 의미하며, 근위 분절에서 원위 분절로 갈수록 작아지는 경향을 보인다. 이는 근위부에서 원위부로의 연속된 동작에 따라, 근위 분절부터 원위 분절까지 순차적으로 포워드 회전이 발생함을 의미한다. 단위는 millisecond이다.

5) Delta T2

타격 시점과 최대 각속도 시점 간 시간차를 뜻하며, 타격 시점에서 각 분절이 최대 각속도를 이루는 시점을 뺀 값을 의미한다. Delta T1과 마찬가지로 대부분 근위 분절보다 원위 분절이 작은 값을 가진다. 이는 최대 각속도를 보이는 시점 역시 근위 분절에서부터 원위 분절로 순차적으로 나타남을 의미한다. 단위는 millisecond이다.

제 6 절 통계 처리

연구 참여자가 각 속도 조건에서 수행한 스윙의 변인들은 평균을 내어 하나의 대푯값을 산출하였다. 또한, 속도와 집단 두 요인이 포핸드 드라이브 스윙에 끼치는 영향을 분석하기 위해 이원분산분석(two-way ANOVA)을 수행하였다. 두 요인의 상호작용이 있는 경우는 속도별로 독립 표본 t-검정(independent t-test)과 각 집단별로 일원분산분석(one-way ANOVA)을 통해 사후검정을 진행하였다.

통계처리 프로그램은 SPSS 26.0(IBM, USA)을 사용하였고, 가설 검증을 위한 통계적 유의 기준은 .05로 설정하였다.

제 4 장 연구 결과

제 1 절 선수 집단과 초급자 집단 간 차이

선수 집단과 초급자 집단은 포핸드 드라이브 스윙에 있어서, 테이크백 각도, Delta T2, 최대 각속도, 포워드 회전 각변위에서 집단 간 유의미한 차이를 보였다. <그림 6>은 본 연구의 결과 중 유의미한 차이들을 스윙의 시간 순서에 따라 도식화한 모습이다. 1절 선수 집단과 초급자 집단 간 차이에서는 이원분산분석의 두 요인인 속도와 집단 중 집단 간의 차이를 주요인으로 살펴볼 것이다.

선수 집단은 초급자 집단에 비해 더 큰 테이크백 각도를 보인다.
(어깨, 상완)

↓

선수 집단은 초급자 집단에 비해 더 작은 Delta T2 값을 가진다.
(골반)

↓

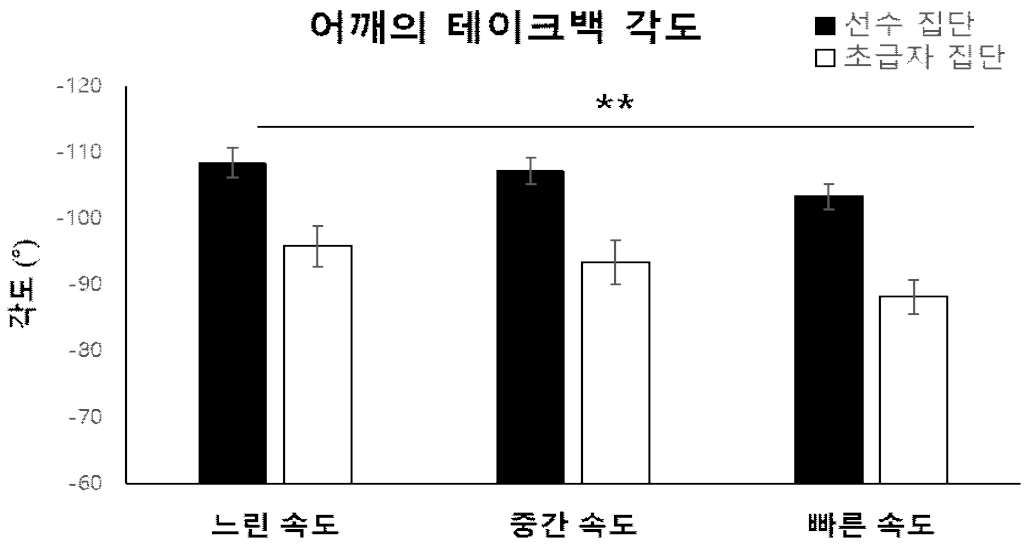
선수 집단은 초급자 집단에 비해 더 큰 최대 각속도 값을 가진다.
(상완)

↓

선수 집단은 초급자 집단에 비해 더 큰 포워드 회전 각변위를 가진다.
(상완)

<그림 6> 집단 간 포핸드 드라이브 스윙 차이

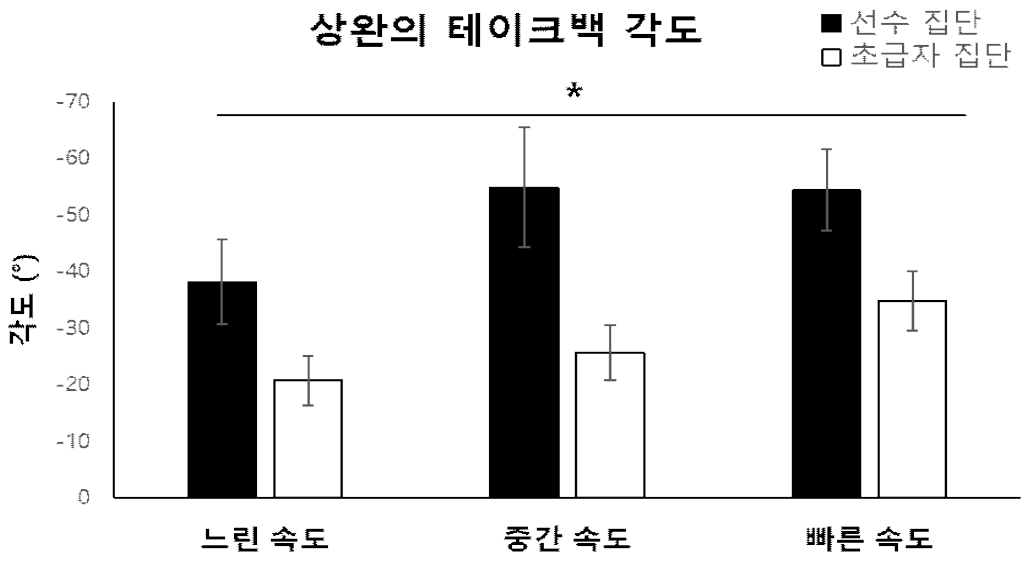
먼저, 선수 집단은 초급자 집단에 비해 네 분절에서 모두 테이크백 각도가 더 큰 경향을 보였지만, 통계적으로 유의한 차이를 보였던 분절은 어깨($F_{[1,11]}$ = 16.764, p = 0.002)와 상완($F_{[1,11]}$ = 8.088, p = 0.016)이다(그림 7, 8).



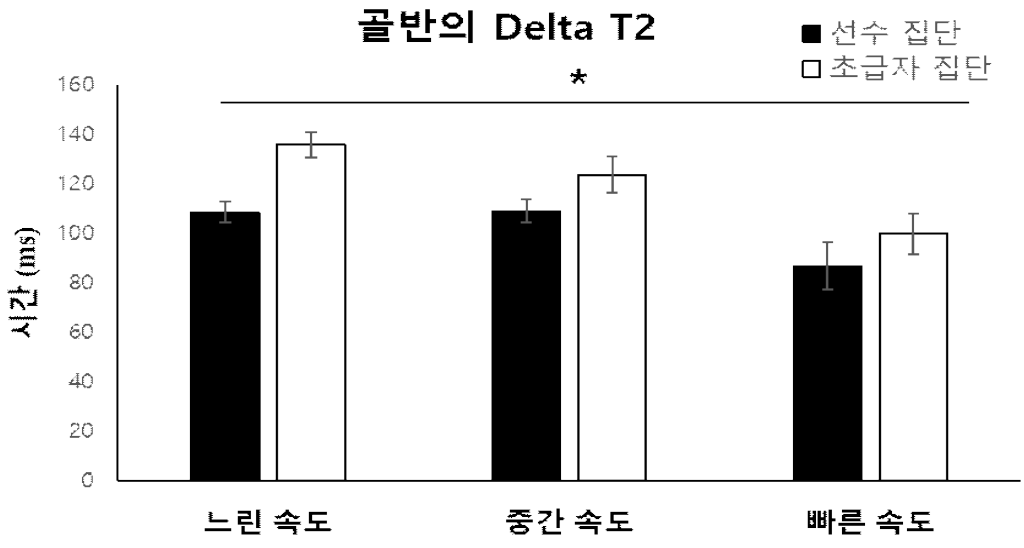
<그림 7> 포핸드 드라이브 스윙에서 어깨의 테이크백 각도 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

또한, 선수 집단은 초급자 집단에 비해 골반의 Delta T2가 더 작은 결과를 보였다. 이는 선수 집단의 경우 골반의 최대 각속도 시점과 타격 시점 사이의 시간차가 초급자 집단에 비해 더 작다는 것을 의미한다(그림 9). 이러한 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($F_{[1,11]}$ = 5.217, p = 0.043).

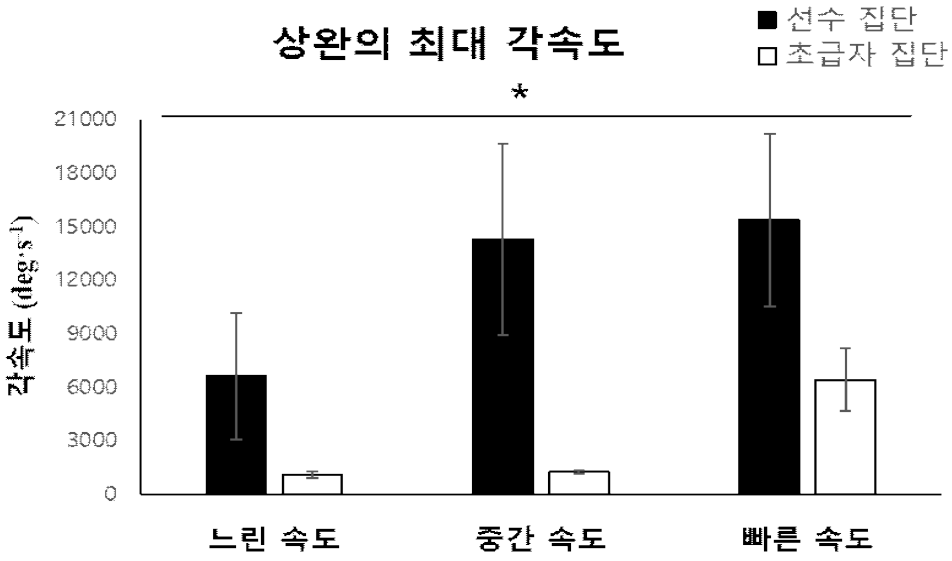
골반의 경우 최대 각속도 시점의 집단 간 차이가 존재했다면, 상완에서는 최대 각속도 크기의 집단 간 차이가 존재하였다. 선수 집단은 초급자 집단과 비교하여 상완의 최대 각속도가 더 큰 경향을 보였으며(그림 10), 이는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다 ($F_{[1,11]}$ = 5.581, p = 0.038).



<그림 8> 포핸드 드라이브 스윙에서 상완의 테이크백 각도 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

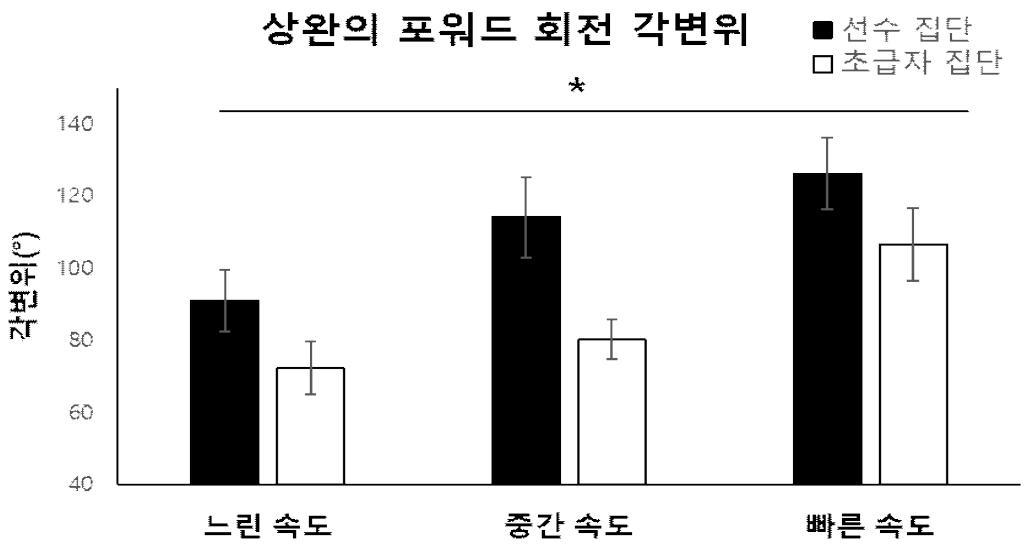


<그림 9> 포핸드 드라이브 스윙에서 골반의 Delta T2 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.



<그림 10> 포핸드 드라이브 스윙에서 상완의 최대 각속도 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

마지막으로, 상완의 경우 선수 집단이 초급자 집단보다 더 큰 포워드 회전 각변위를 보였다(그림 11). 이는 선수 집단이 초급자 집단과 비교하여 테이크백으로부터 타격 시점까지의 포워드 스윙 동안 더 많은 각도를 움직였다는 것을 의미한다. 이원분산분석의 결과, 이러한 집단 간 차이가 유의하게 나타났다($F_{[1,11]}$ = 6.571, p = 0.026).

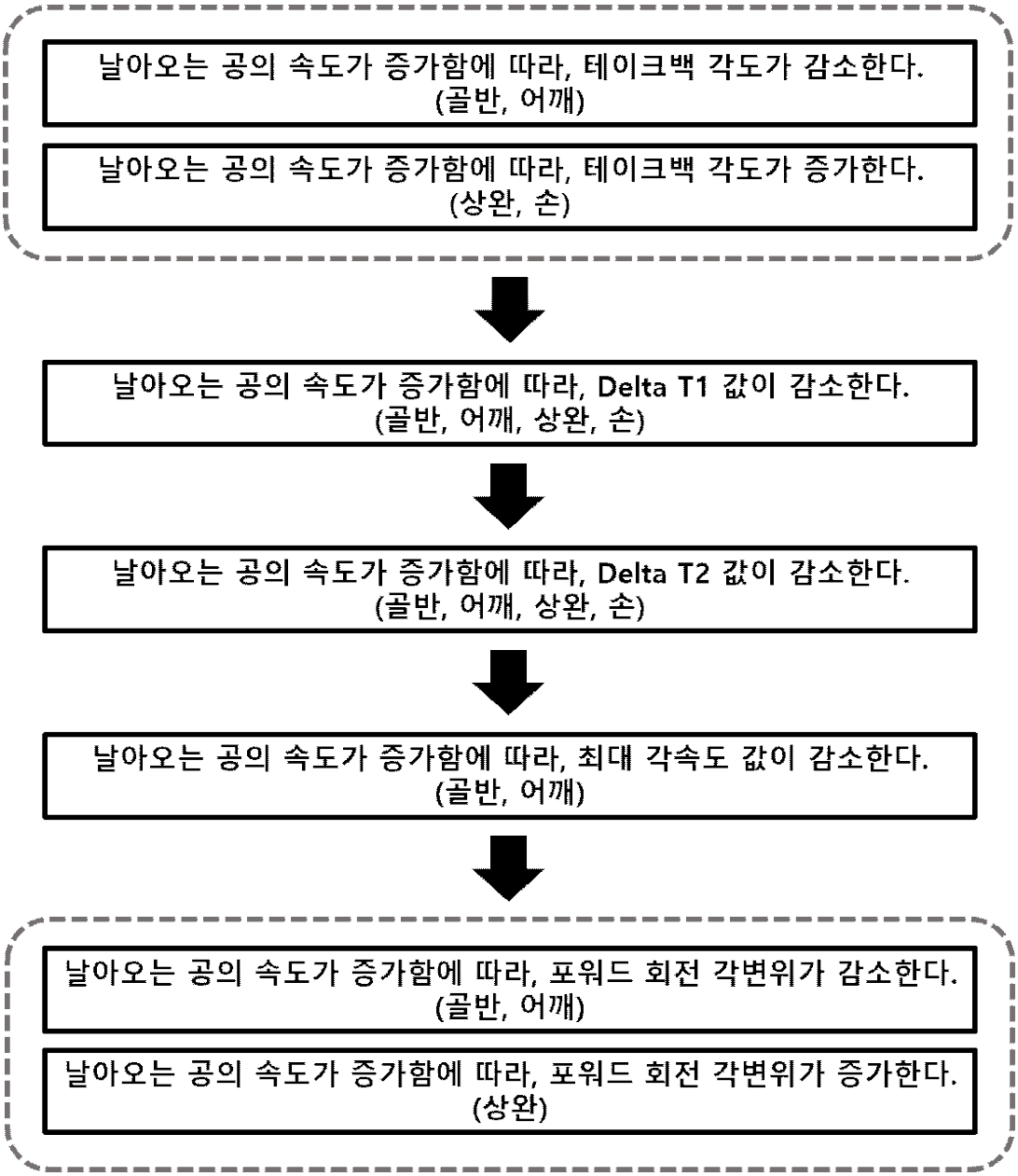


<그림 11> 포핸드 드라이브 스윙에서 상완의 포워드 회전 각변위 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

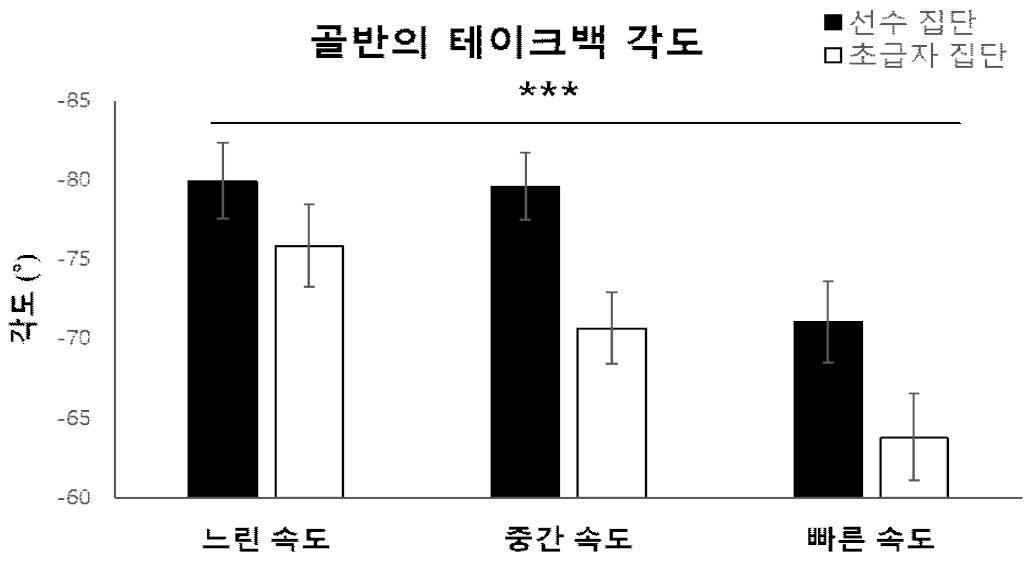
제 2 절 공의 속도에 따른 차이

선수 집단과 초급자 집단에 상관없이 연구 참여자들은 포핸드 드라이브 스윙에 있어서, 날아오는 공의 속도가 증가함에 따라, 비슷한 방식으로 스윙 전략을 변화시켰다. 2절 공의 속도에 따른 차이에서는 이원분산분석의 두 요인인 속도와 집단 중 속도 간의 차이를 주요인으로 살펴볼 것이다. <그림 12>는 연구 참여자들이 날아오는 공의 속도에 따라 변화시키는 스윙 전략을 스윙의 시간 순서에 따라 도식화한 모습이다.

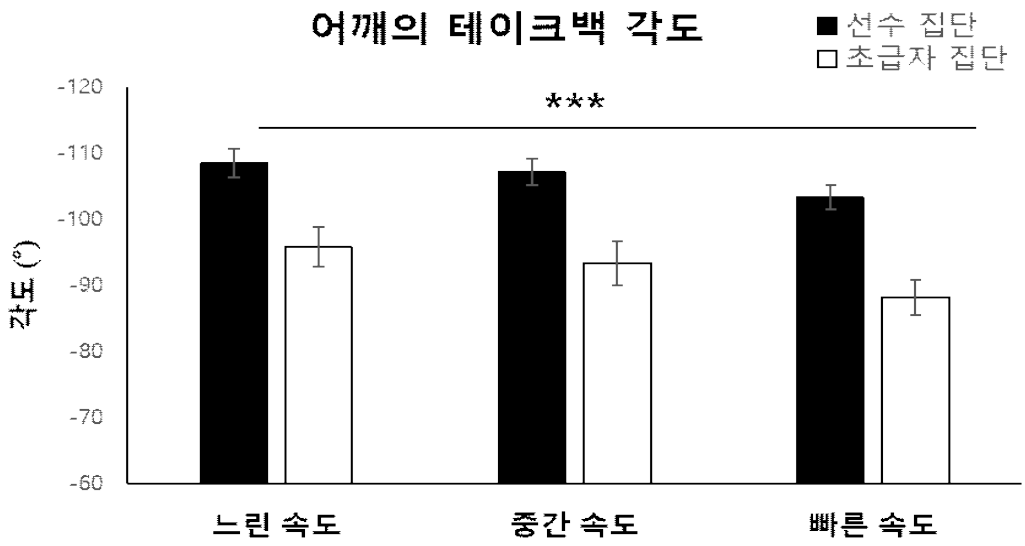
연구 참여자들은 공의 속도가 증가함에 따라, 근위 분절(골반, 어깨)의 테이크백 각도를 감소시키는 반면(그림 13, 14), 원위 분절(상완, 손)의 테이크백 각도를 증가시키는 경향을 보였다(그림 15, 16). 이러한 경향은 네 분절에서 모두 통계적으로 유의한 결과를 보였다(표 1).



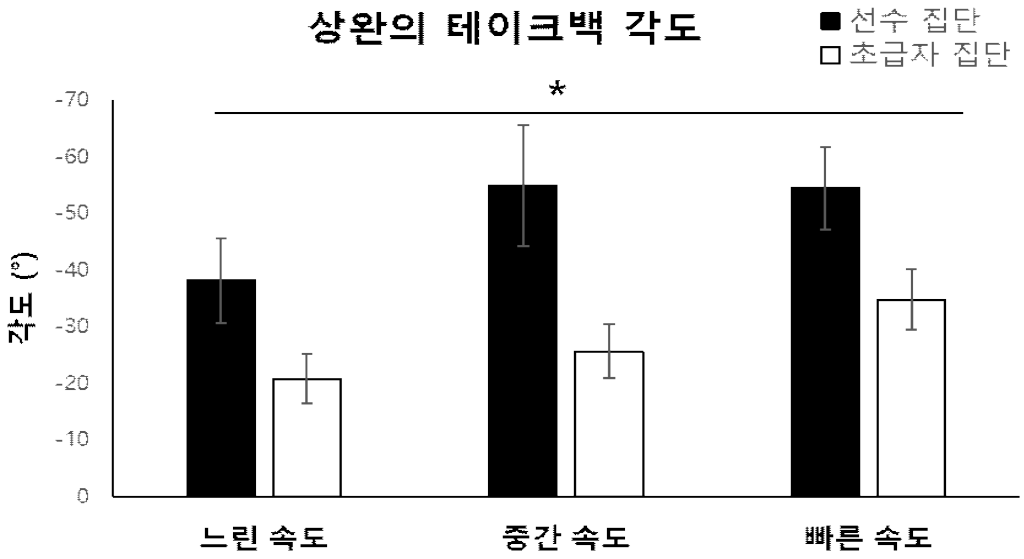
<그림 12> 속도 간 포핸드 드라이브 스윙 차이



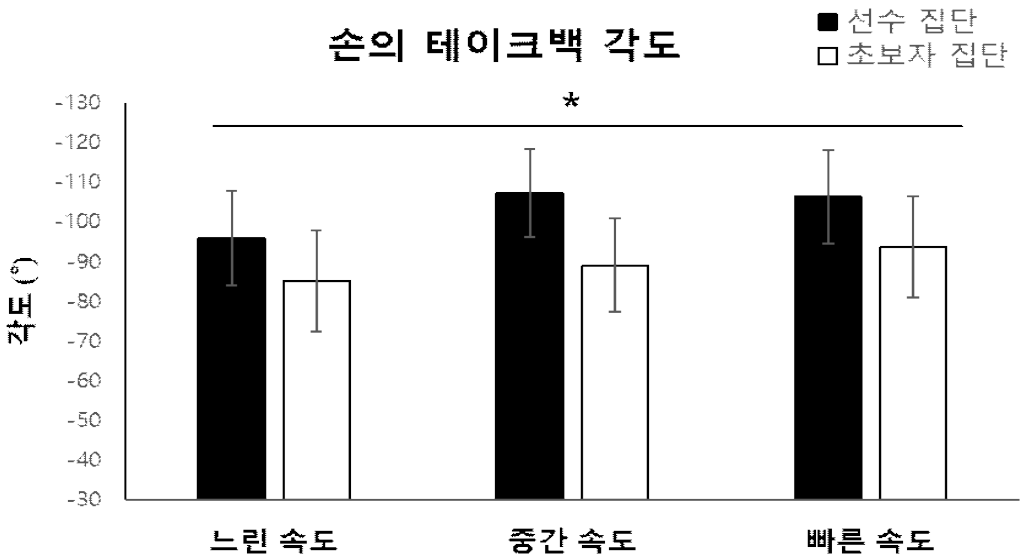
<그림 13> 포핸드 드라이브 스윙에서 골반의 테이크백 각도 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.



<그림 14> 포핸드 드라이브 스윙에서 어깨의 테이크백 각도 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.



<그림 15> 포핸드 드라이브 스윙에서 상완의 테이크백 각도 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

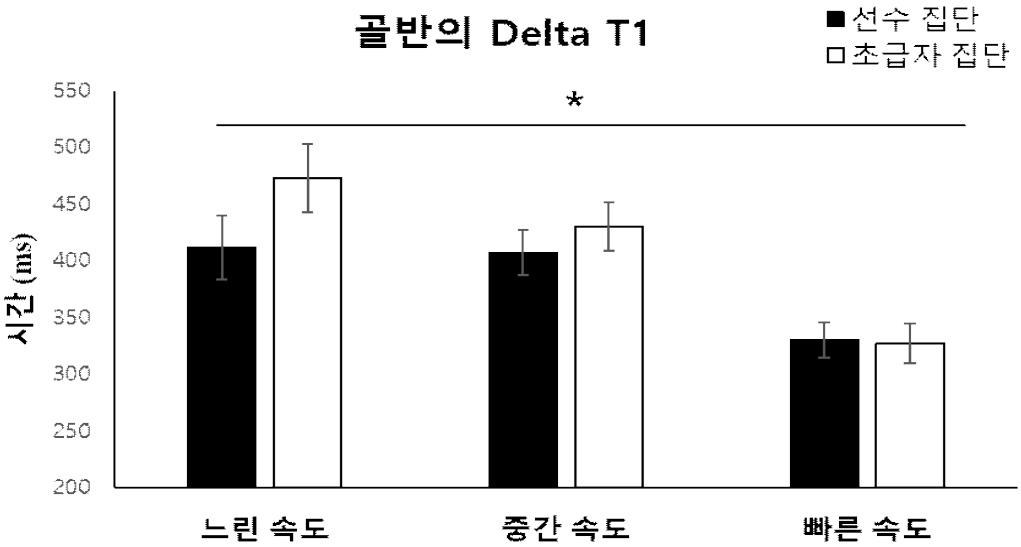


<그림 16> 포핸드 드라이브 스윙에서 손의 테이크백 각도 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

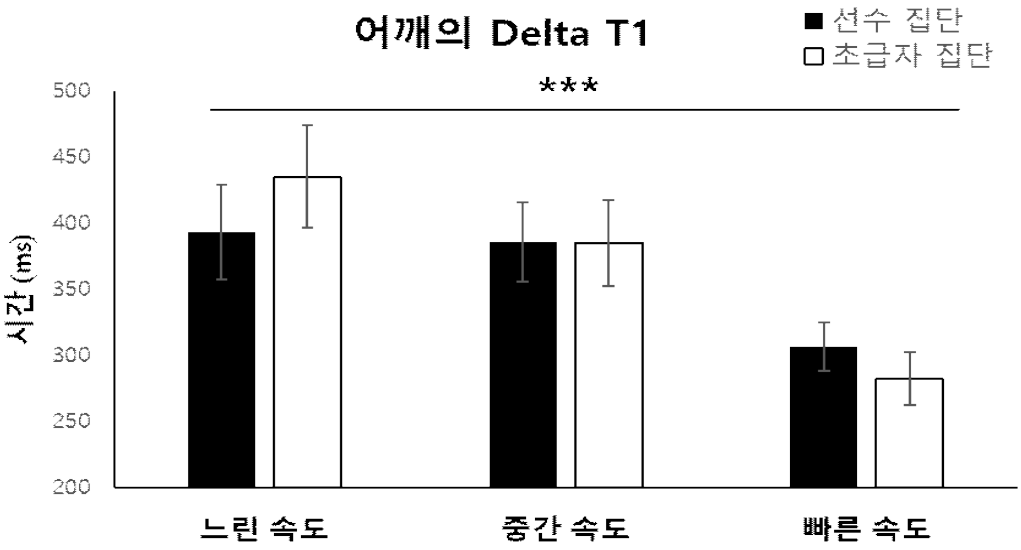
표 01. 골반, 어깨, 상완, 손의 테이크백 각도와 관련된 통계량

	자유도	F	p
골반	2,22	40.132	< 0.001
어깨	2,22	29.303	< 0.001
상완	2,22	3.473	0.049
손	2,22	3.539	0.046

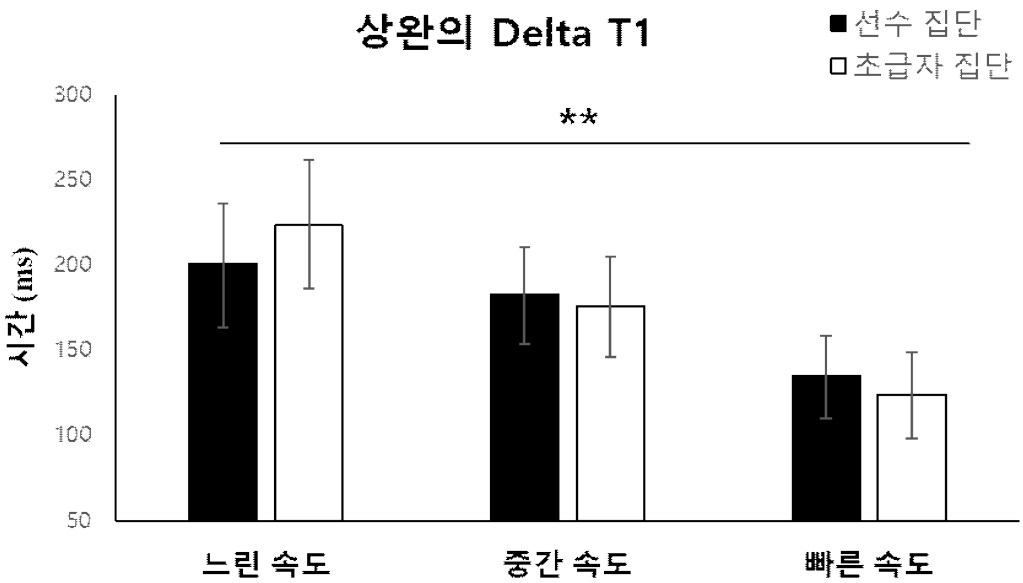
테이크백 각도의 경우 근위 분절과 원위 분절이 각각 날아오는 공의 속도에 따라 다른 변화 양상을 보였다면, 포워드 회전을 시작하는 시점과 타격 시점의 시간차를 의미하는 Delta T1은 동일한 변화 양상을 보였다. 속도가 증가함에 따라 모든 분절에서 시간차를 줄이는 경향을 보였으며(그림 17, 18, 19, 20), 이를 통해 시간의 압박이 있는 경우, 포워드 회전하는 시간 자체를 줄여버리는 모습을 확인할 수 있었다. 결과는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다(표 2).



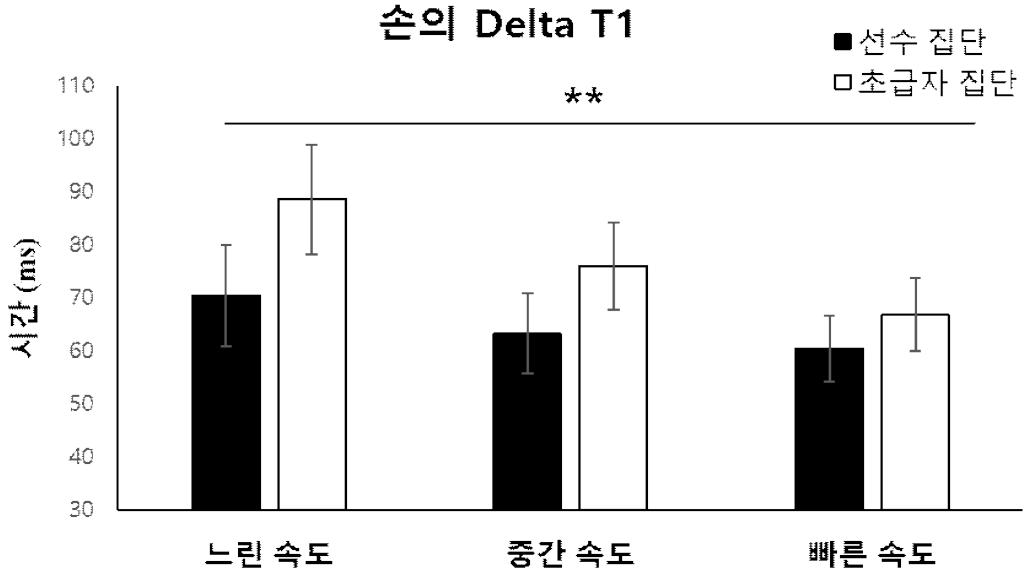
<그림 17> 포핸드 드라이브 스윙에서 골반의 Delta T1 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.



<그림 18> 포핸드 드라이브 스윙에서 어깨의 Delta T1 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.



<그림 19> 포핸드 드라이브 스윙에서 상완의 Delta T1 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

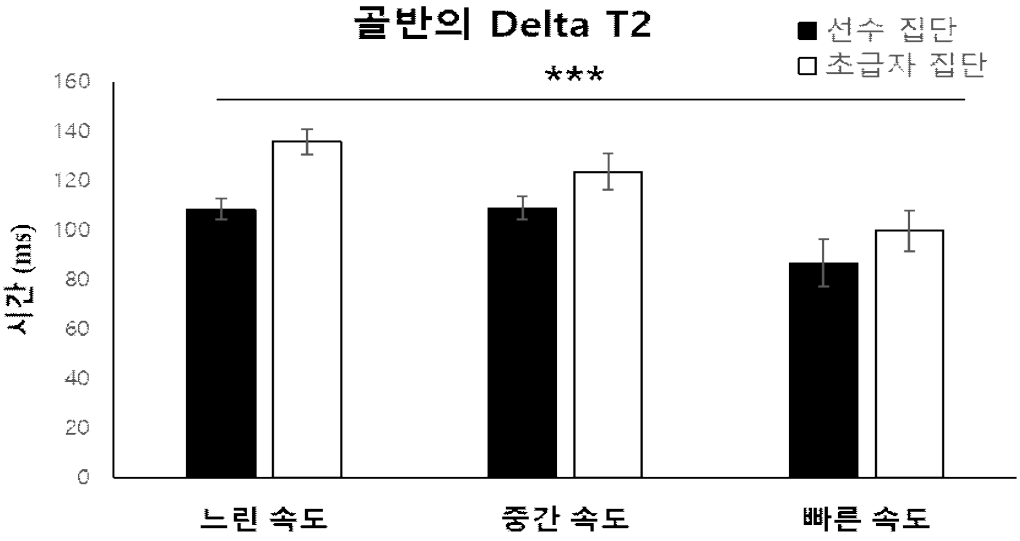


<그림 20> 포핸드 드라이브 스윙에서 상완의 Delta T1 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

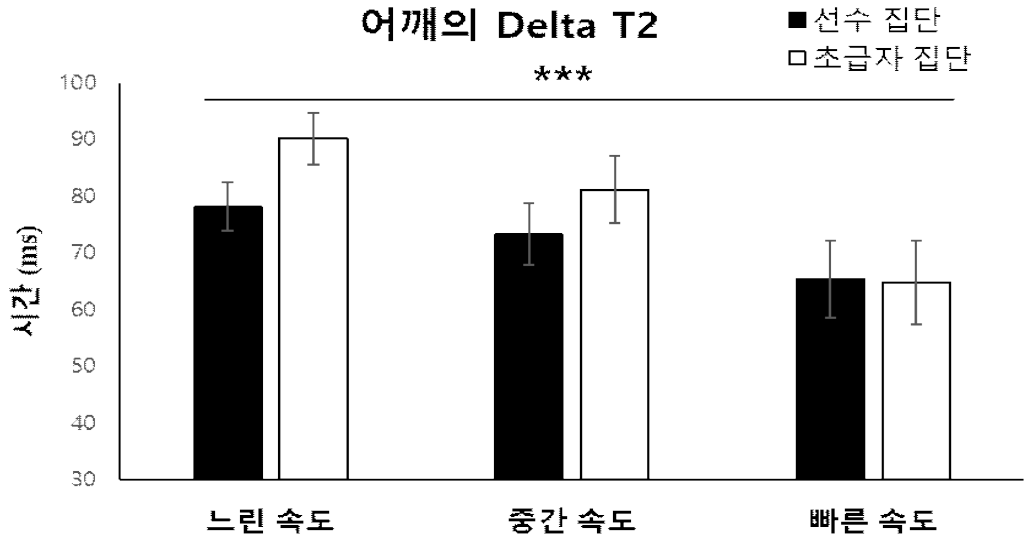
표 02. 골반, 어깨, 상완, 손의 Delta T1과 관련된 통계량

	자유도	F	p
골반	1.355,14.903	5.154	0.030
어깨	1.104,12.144	57.000	< 0.001
상완	1.536,16.900	12.479	0.001
손	1.337,14.706	9.571	0.005

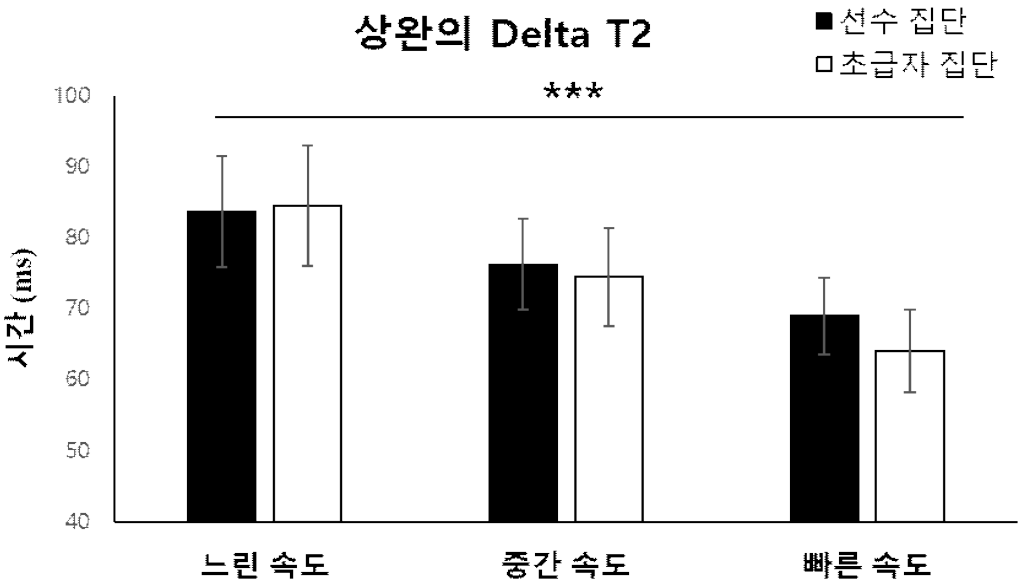
날아오는 공의 속도가 증가함에 따라, 각 분절이 포워드 회전을 시작하는 시점과 타격 시점의 시간차가 감소했던 앞의 결과와 마찬가지로, 최대 각속도를 이루는 시점과 타격 시점의 시간차를 의미하는 Delta T2 역시 공의 속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며(그림 21, 22, 23, 24), 통계적으로도 모두 유의하였다(표 3).



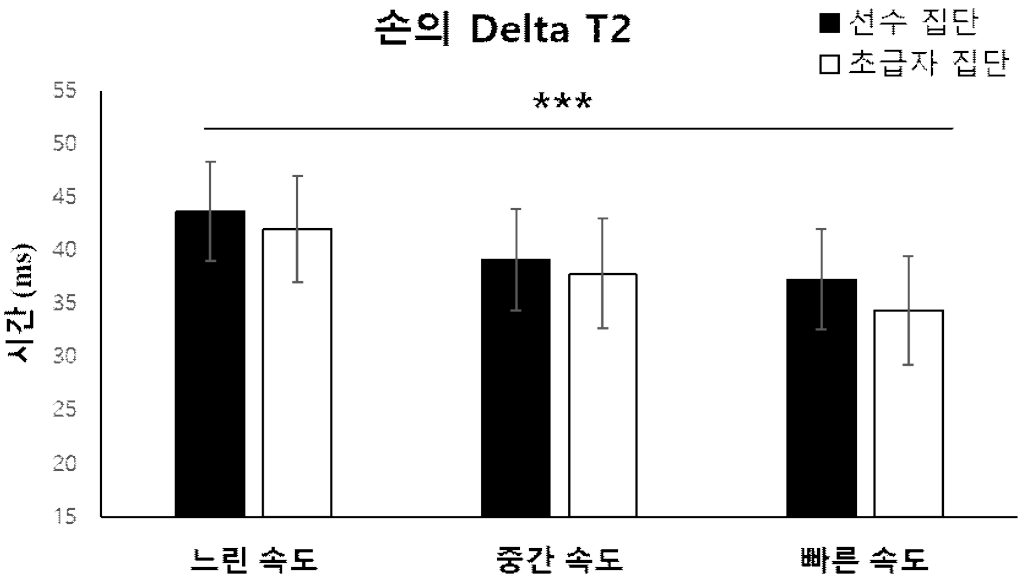
<그림 21> 포핸드 드라이브 스윙에서 골반의 Delta T2 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.



<그림 22> 포핸드 드라이브 스윙에서 어깨의 Delta T2 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.



<그림 23> 포핸드 드라이브 스윙에서 상완의 Delta T2 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

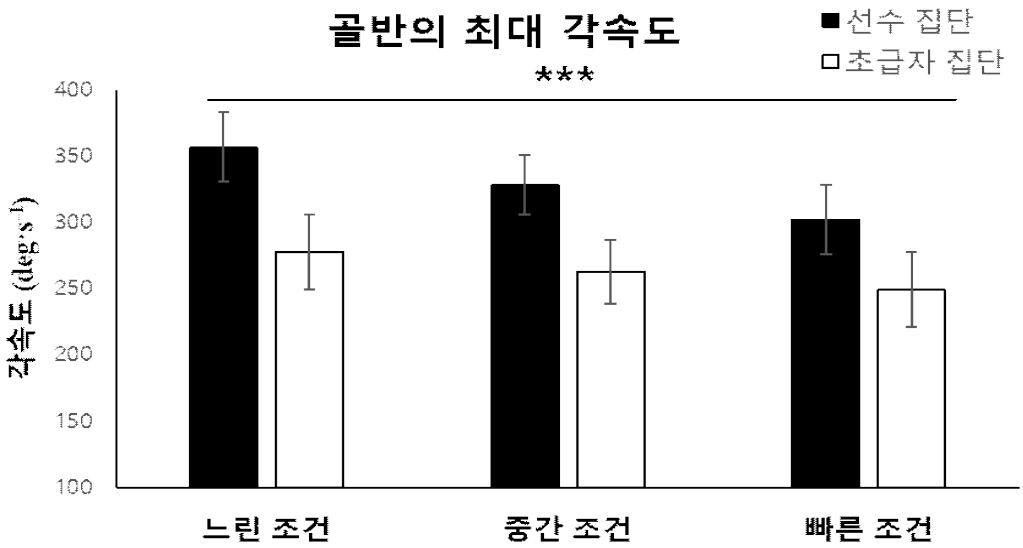


<그림 24> 포핸드 드라이브 스윙에서 상완의 Delta T2 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

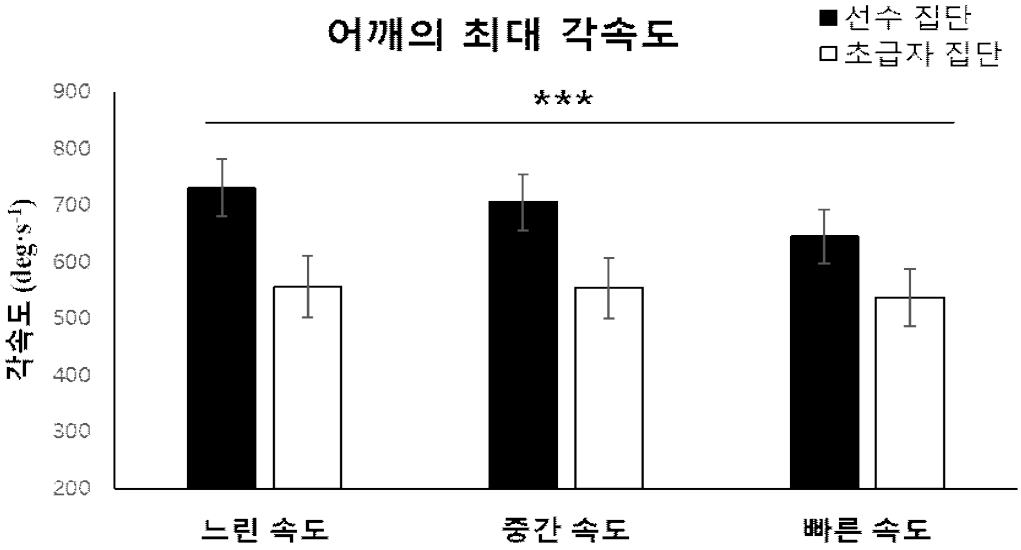
표 03. 골반, 어깨, 상완, 손의 Delta T2와 관련된 통계량

	자유도	F	p
골반	1.136,12.496	22.338	< 0.001
어깨	2,22	47.944	< 0.001
상완	1.296,14.254	33.299	< 0.001
손	1.342,14.759	26.76	< 0.001

골반과 어깨와 같은 근위 분절에서는 날아오는 공의 속도가 증가함에 따라 최대 각속도를 감소시키는 경향을 보였다(그림 25, 26). 이러한 경향은 원위 분절에서는 발생하지 않았지만 근위 분절인 골반(F = 13.431, p = 0.000)과 어깨(F = 16.321, p = 0.000)에서 통계적으로 유의하게 나타났다.

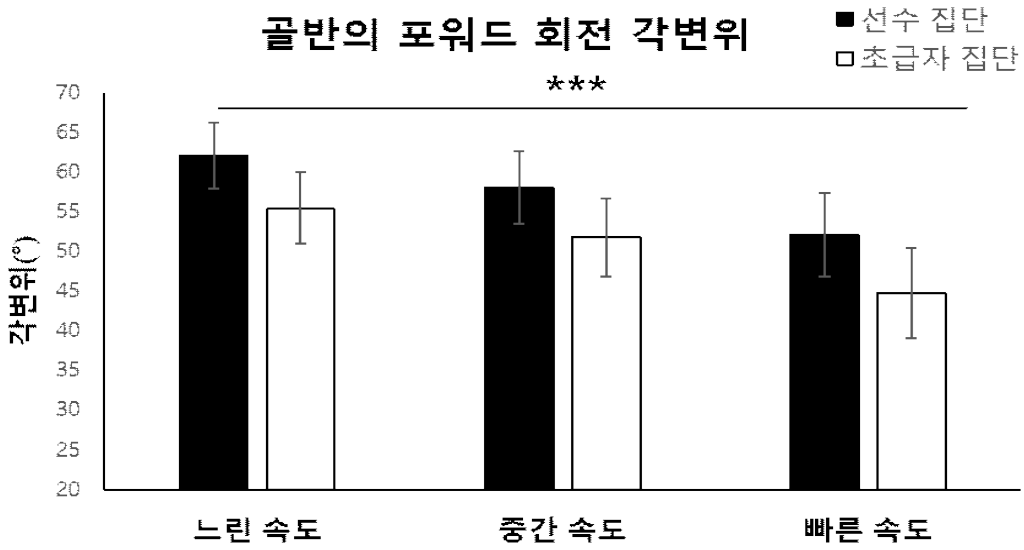


<그림 25> 포핸드 드라이브 스윙에서 골반의 최대 각속도 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

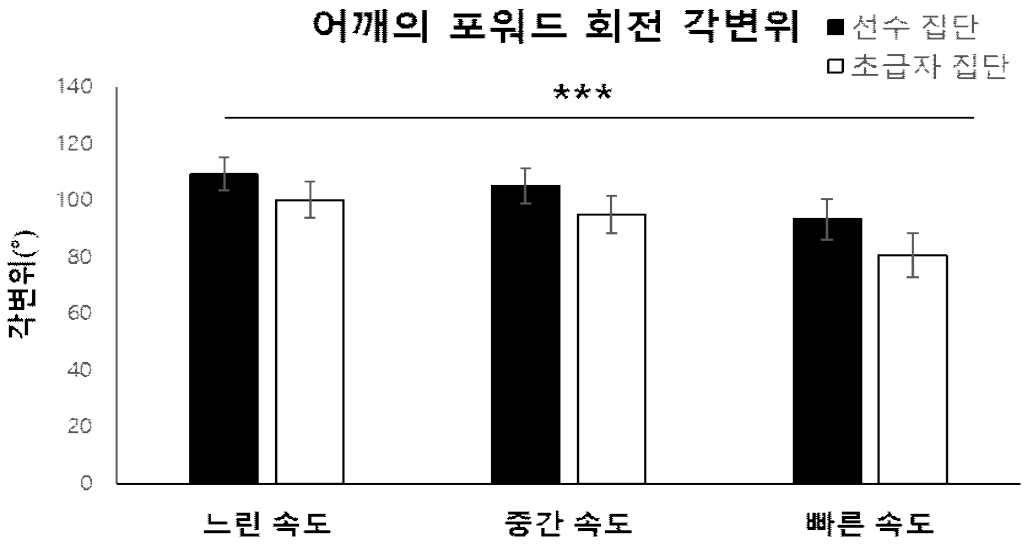


<그림 26> 포핸드 드라이브 스윙에서 어깨의 최대 각속도 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

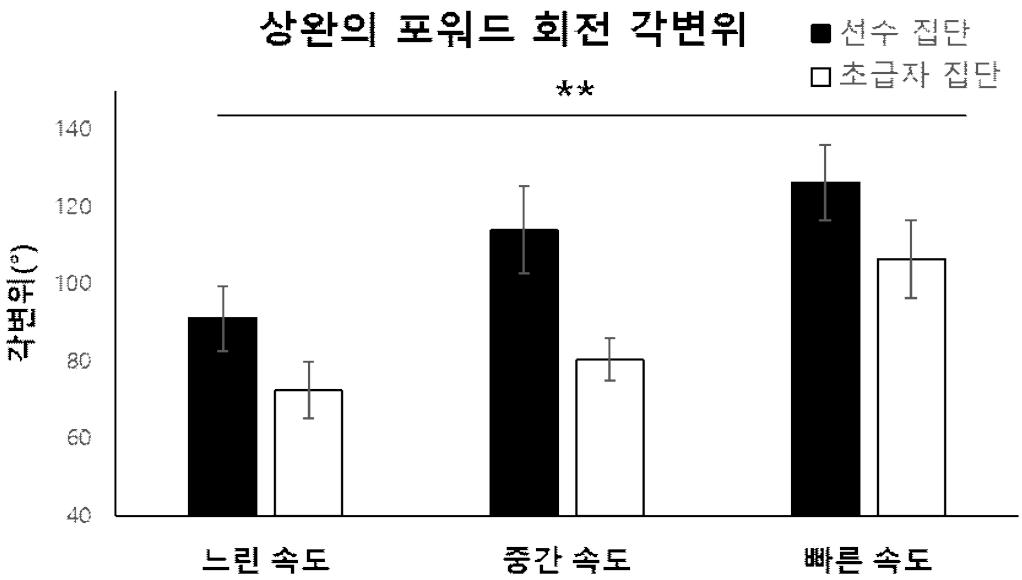
마지막으로 각변위의 경우 근위 분절인 골반과 어깨는 포워드 회전 동안의 각변위가 공의 속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고, 상대적으로 원위 분절에 해당하는 상완의 경우 포워드 회전 동안의 각변위가 증가하였다(그림 27, 28, 29). 통계적으로 골반, 어깨, 상완에서 유의한 차이를 보였다(표 4).



<그림 27> 포핸드 드라이브 스윙에서 골반의 포워드 회전 각변위 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.



<그림 28> 포핸드 드라이브 스윙에서 어깨의 포워드 회전 각변위 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.



<그림 29> 포핸드 드라이브 스윙에서 어깨의 포워드 회전 각변위 값을 나타낸 그림이며, 검은색 막대는 선수 집단, 흰색 막대는 초급자 집단의 어깨 테이크백 각도를 의미한다. *은 p value가 < .05, **은 < .01, ***은 < .001을 의미한다.

표 04. 골반, 어깨, 상완의 포워드 회전 각변위와 관련된 통계량

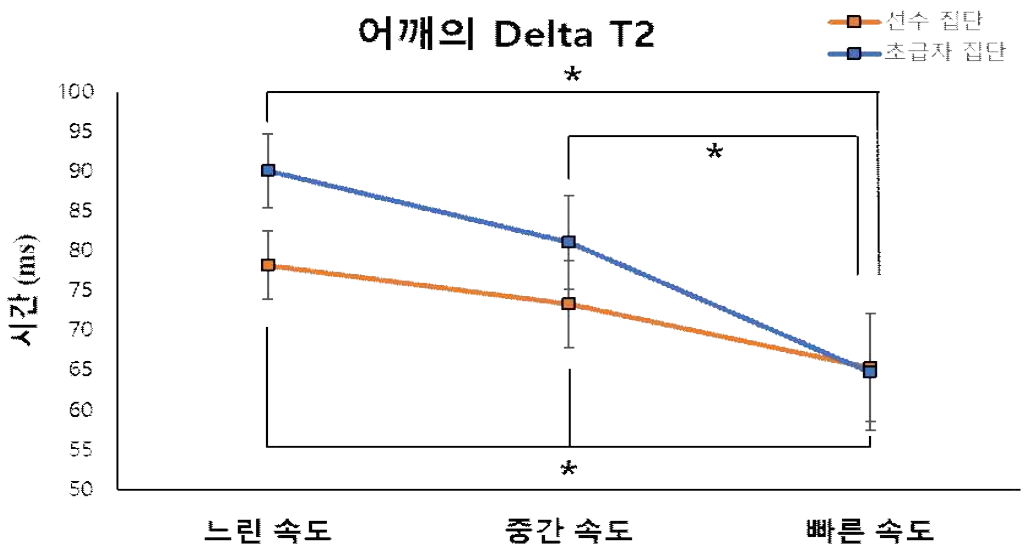
	자유도	F	p
골반	1.306,14.370	20.372	< 0.001
어깨	1.202,13.225	74.112	< 0.001
상완	2,22	10.004	0.001

제 3 절 공의 속도에 따른 집단 간 차이

선수 집단과 초급자 집단은 포핸드 드라이브 스윙에 있어서, 속도와 상관없이 집단 간 차이가 나타났지만, 공의 속도에 따른 전략 변화에 있어서 매우 유사한 형태의 변화를 보였다. 하지만 이원분산분석을 진행하였을 때 속도와 집단 두 요인 간의 상호작용이 나타나는 변인이

존재하였고 이를 통해, 공의 속도에 따른 스윙 변화의 집단 간 차이를 살펴볼 수 있었다. 본 연구 결과, 이러한 차이는 특히 어깨에서 유의한 차이를 보였다.

먼저, 두 집단 모두 날아오는 공의 속도가 증가함에 따라 Delta T2 값이 감소하는 경향을 보였으며(그림 30), 이원분산분석을 통해 속도와 집단 두 요인 간의 상호작용을 통계적으로 확인할 수 있었다(F = 5.181, p = 0.014). 이후 사후검정으로서 속도 조건을 기준으로 각 집단별 일원분산분석을 진행하여 선수 집단은 통계적으로 모든 속도 조건 간의 차이가 유의하게 나타나지만(표 5), 초급자의 경우 느린 속도 조건과 중간 속도 조건 간에 차이가 유의하게 나타나지 않음을 확인할 수 있었다(표 6).



<그림 30> 포핸드 드라이브 스윙에서 어깨의 Delta T2 값을 나타낸 그림이며, 주황색 표식은 선수 집단의 Delta T2 값, 파란색 표식은 초급자 집단의 Delta T2값을 의미한다. *은 개별 집단 내에서 속도 조건 간의 차이가 유의함을 나타내며, p < .05임을 의미한다.

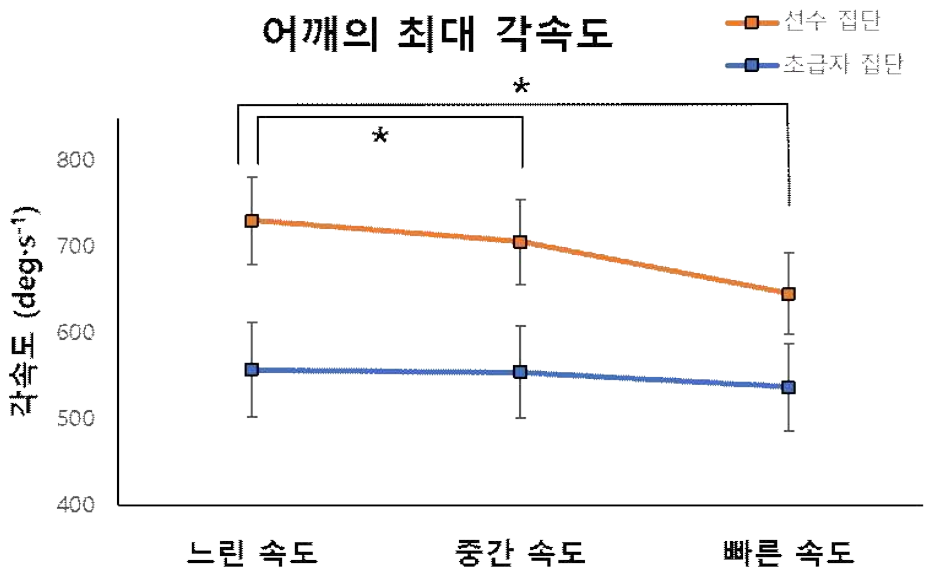
표 05. 선수 집단의 어깨의 Delta T2 값과 관련된 일원분산분석 통계량

I	J	평균차이(I-J)	표준오차	*p*
느린 속도	중간 속도	4.806	1.001	0.009*
	빠른 속도	12.85	2.601	0.008*
중간 속도	느린 속도	-4.806	1.001	0.009*
	빠른 속도	8.044	1.762	0.011*
빠른 속도	느린 속도	-12.85	2.601	0.008*
	중간 속도	-8.044	1.762	0.011*

표 06. 초급자 집단의 어깨의 Delta T2 값과 관련된 일원분산분석 통계량

I	J	평균차이(I-J)	표준오차	*p*
느린 속도	중간 속도	9.011	3.165	0.108
	빠른 속도	25.344	4.573	0.008*
중간 속도	느린 속도	-9.011	3.165	0.108
	빠른 속도	16.333	3.048	0.009*
빠른 속도	느린 속도	-25.344	4.573	0.008*
	중간 속도	-16.333	3.048	0.009*

날아오는 공의 속도에 따른 스윙 변화의 집단 간 차이는 최대 각속도의 시점뿐만 아니라, 최대 각속도 값 자체에서도 나타났다. 날아오는 공의 속도가 빨라짐에 따라 두 집단 모두 어깨의 최대 각속도가 감소하는 경향을 보였다(그림 31). 이원분산분석을 통해 속도와 집단 간의 상호작용이 있음을 확인하였고, 개별 집단 내에서 속도를 기준으로 하는 일원분산분석을 통해 사후검정을 진행하였다. 그 결과 선수 집단의 경우 중간 속도 조건과 빠른 속도 조건 간의 차이를 제외하고 모든 조건에서 통계적으로 유의한 차이를 보인 반면(표 7), 초급자 집단의 경우는 어떤 조건에서도 서로 유의한 차이를 보이지 않았다(표 8).



<그림 31> 포핸드 드라이브 스윙에서 어깨의 최대 각속도 값을 나타낸 그림이며, 주황색 표식은 선수 집단의 Delta T2 값, 파란색 표식은 초급자 집단의 Delta T2값을 의미한다. *은 개별 집단 내에서 속도 조건 간의 차이가 유의함을 나타내며, p < .05임을 의미한다.

표 07. 선수 집단의 어깨의 최대 각속도 값과 관련된 일원분산분석 통계량

I	J	평균차이(I-J)	표준오차	p
느린 속도	중간 속도	28.757	6.997	0.019*
	빠른 속도	54.871	13.519	0.02*
중간 속도	느린 속도	-28.757	6.997	0.019*
	빠른 속도	26.115	10.331	0.134
빠른 속도	느린 속도	-54.871	13.519	0.02*
	중간 속도	-26.115	10.331	0.134

표 08. 초급자 집단의 어깨의 최대 각속도 값과 관련된 일원분산분석 통계량

I	J	평균차이(I-J)	표준오차	p
느린 속도	중간 속도	2.602	10.237	1
	빠른 속도	19.916	18.365	0.983
중간 속도	느린 속도	-2.602	10.237	1
	빠른 속도	17.314	14.844	0.888
빠른 속도	느린 속도	-19.916	18.365	0.983
	중간 속도	-17.314	14.844	0.888

제 5 장 논의

본 연구는 테니스의 기본 동작 중 가장 빈번히 사용되며, 승리 기여도가 높은 포핸드 드라이브 스윙을 분석하였다. 본 연구 과제는 볼머신에서 무작위 순서로 발사되는 세 가지 속도 조건의 공을 포핸드 드라이브로 타격하는 과제이다. 속도 조건에 따라 달라지는 스윙을 분석하여, 포핸드 드라이브와 같이 근위부에서 원위부로 연속되는 다관절의 interceptive action이 속도에 따라 어떤 전략적 변화를 보이는지 정량화하려 하였다. 또한, 연구 참여자는 현역 대학 선수 집단과 구력 3년 이하의 초급자 집단으로 구성되어 있으며, 집단 간 차이를 살펴, 추후 테니스 포핸드 드라이브 학습과 관련된 후속 연구의 바탕이 되는 자료를 얻고자 하였다. 위와 같은 연구 목적에 따라, 본 연구에서 분석하고자 한 분석 변인은 골반, 어깨, 상완, 손의 각운동과 관련된 테이크백 각도, 최대 각속도, 포워드 회전 각변위, 타격 시점과 포워드 회전이 시작되는 시점의 시간차, 그리고 타격 시점과 최대 각속도 시점의 시간차다.

제 1 절 선수 집단과 초급자 집단 간 차이

선수 집단과 초급자 집단의 차이가 유의하게 나왔던 분석 변인들은 테이크백 각도, 타격 시점과 최대 각속도 시점의 시간차, 최대 각속도, 포워드 스윙 각변위다.

테이크백 각도의 경우, 어깨와 상완에서 선수 집단이 초급자 집단에 비해 더 큰 값을 가지는 경향을 보였는데, 테이크백 각도가 크다는 의미는 타격자 입장에서 포워드 스윙을 할 수 있는 공간을 더 크게 확보하려는 전략으로 이해할 수 있다. 테이크백 각도가 커지면서 각 분절이 가속할 구간을 더 확보할 수 있지만, 동시에 분절의 테이크백

각도가 커질수록 테이크백 동작에서 라켓이 포워드 스윙 방향 반대로 많이 회전하게 되므로, 동일한 위치에서 타격이 이루어진다는 가정하에, 포워드 스윙에서 더 많은 회전을 해야 한다. 더 많은 회전은 정확한 시점과 위치를 충족해야 하는 포핸드 드라이브 타격을 어렵게 하기 때문에 정확성 측면에서는 어려움을 야기한다. 본 실험은 날아오는 공을 다시 볼머신을 향해 타격하는 것을 가장 중요한 과제 수행 목표로 삼았는데, 초급자 집단의 경우 테이크백 각도를 크게 하면서 정확한 타격을 하기 쉽지 않기 때문에 선수 집단보다 작은 테이크백 각도를 가지는 전략을 선택했다고 사료된다.

타격 시점과 최대 각속도 시점의 시간차는 골반에서 집단 간 유의한 차이가 발견되었다. 선수 집단의 시간차가 초급자 집단에 비해 더 작은 결과를 보였다. 이는 ATP선수들과 유소년 선수들의 포핸드 스윙을 비교 분석하였던 선행 연구(Landlinger, J, et al, 2010)의 결과와 일치한다. 선행 연구의 결과에서는 ATP 선수들의 최대 각속도 시점이 유소년 선수들에 비해 타격 시점에 더 가까웠으며, 즉 시간차가 작았다. 또한, 선행 연구에서 최대 각속도는 두 집단 간의 유의한 차이가 없었지만 ATP 선수들의 최대 각속도 시점과 타격 시점의 시간차가 작기 때문에 골반의 회전이 라켓의 선속도에 더 크게 기여하였다고 이야기하였는데, 본 연구의 결과도 이와 같은 맥락으로 이해할 수 있다.

최대 각속도와 포워드 회전 각변위의 경우 상완에서 집단간 유의한 차이가 나타났다. 상완과 손은 골반과 어깨와는 다르게 상대각을 측정하였는데, 상완의 상대각은 어깨선과 상완 사이의 각도를 의미한다. 상완은 어깨와 구조적으로 연결되어 있기 때문에, 어깨의 회전은 상완의 회전을 유발할 수밖에 없다. 이러한 상완의 비자발적인 회전이 아닌, 자발적인 회전을 살펴보기 위해, 상대각을 측정하였다. 아직 숙련되지 못한 초급자들의 포핸드 스윙을 정성적으로 살펴보았을 때, 몸통이나 어깨의 회전에 비해 상완의 자발적인 회전이 부족하여 라켓에 충분한 힘이 실리지 않는 경우가 많이 관찰되었다. 이러한 초급자들의 문제를 지금까지 정성적으로만 이해하고 있었지만, 상완의 최대 각속도와

포워드 회전 각변위가 통계적으로 유의한 집단간 차이를 보임에 따라 정량적인 근거를 제시할 수 있다.

제 2 절 공의 속도에 따른 차이

선수 집단과 초급자 집단에 상관없이 연구 참여자들은 포핸드 드라이브 스윙에 있어서, 날아오는 공의 속도가 변화함에 따라, 테이크백 각도, 타격 시점과 포워드 회전 시작 시점의 시간차, 타격 시점과 최대 각속도 시점의 시간차, 최대 각속도, 포워드 스윙 각변위를 조절함으로써 날아오는 공에 적합한 스윙 전략을 선택하고 수행하였다.

테이크백 각도의 경우 상대적으로 근위 분절인 골반과 어깨는 날아오는 공의 속도가 빨라짐에 따라 그 크기를 감소시켰고, 반대로 상대적으로 원위 분절에 해당하는 상완과 손의 경우는 그 크기를 증가시켰다. 이는 근위 분절인 골반과 어깨가 원위 분절인 상완과 손에 비해 질량이 크기 때문에 순간적으로 적절한 회전을 발생시키기가 더 어려워서 나타나는 현상으로 이해할 수 있다. 또한, 반대로 원위 분절들의 테이크백 각도가 증가하는 현상은 근위 분절들의 테이크백 각도가 감소함으로써 충분한 가속 구간이 확보되지 않고, 이러한 부족한 가속을 보상하기 위해 상대적으로 질량이 작은 원위 분절들의 테이크백 각도를 크게 가져감으로써 가속 구간을 더 확보하려는 전략으로 볼 수 있다.

타격 시점과 포워드 회전 시작 시점의 시간차와 타격 시점과 최대 각속도 시점의 시간차는 날아오는 공의 속도가 빨라짐에 따라 모든 분절에서 감소하는 경향을 보였다. 타격 시점과 포워드 회전 시작 시점의 시간차가 공의 속도가 빨라짐에 따라 감소하는 경향은 각 분절이 포워드 회전하는 시간 자체를 줄여, 공을 정확하게 맞추는데 더 집중하는 전략으로 이해할 수 있다. 타격 시점과 최대 각속도 시점의 시간차가 공의 속도가 빨라짐에 따라 감소하는 경향은 근위 분절들의 테이크백 각도가 줄어든 만큼, 가속 구간이 충분치 않기 때문에 1절에서

언급한 것처럼 최대 각속도가 이루는 시점을 타격 시점과 가깝게 함으로써 라켓의 선속도에 상대적으로 더 큰 기여를 하기 위함으로 이해할 수 있다.

최대 각속도의 경우 골반과 어깨에서 날아오는 공의 속도에 따른 차이가 유의하게 나타났다. 두 분절 모두 날아오는 공의 속도가 빨라짐에 따라 최대 각속도를 감소시키는 전략을 보였는데, 이는 앞선 테이크백 각도의 결과와도 관련 있는 결과로 이해할 수 있다. 테이크백 각도가 작다는 의미는 그만큼 분절이 가속할 수 있는 공간이 작아짐을 의미하기 때문이다.

포워드 회전 각변위의 경우 골반과 어깨의 경우 날아오는 공의 속도가 증가함에 따라 유의하게 감소하였고, 상완의 경우 증가하였다. 이 역시 테이크백 각도의 영향을 받은 결과로 이해할 수 있다. 공과 라켓의 타격 순간 몸의 자세가 같다고 한다면, 테이크백 각도가 작아지면 각변위는 감소할 것이고, 반대로 테이크백 각도가 커지면 각변위는 증가할 것이다. 하지만 테이크백 각도의 경우 네 분절 모두 유의한 차이를 보였는데, 각변위에서는 손에서 유의한 차이가 발생하지 않았다. 이는 공의 속도가 달라질 때, 타격 자세가 항상 일정하진 않으므로, 날아오는 공의 속도가 증가함에 따라 손의 테이크백 각도는 커졌지만, 포워드 회전 각변위는 유의하게 증가하지 않았음을 이해할 수 있다.

제 3 절 공의 속도에 따른 집단 간 차이

선수 집단과 초급자 집단의 공의 속도에 따른 집단 간 차이가 발견된 변인은 두 가지가 있는데, 모두 어깨와 관련된 변인들이다. 타격 시점과 최대 각속도 시점의 시간차와 최대 각속도 값에서 이원분산분석 결과 속도와 집단 두 요인 사이의 상호작용이 확인되었다. 이후 단일 집단 내에서 속도 조건에 따라 일원분산분석을 한 결과로, 선수 집단이 초급자 집단에 비해 날아오는 공의 속도에 따라 앞서 언급한 두 변인의 변화를 더 선형적으로 보였다. 날아오는 공의 속도가 다른 경우, 각

속도에 적합한 스윙 전략이 존재할 것으로 사료된다. 이는 2절에서 속도에 따라 연구 참여자들이 비슷한 경향으로 분절들의 회전 형태를 변화시키는 결과로도 알 수 있다. 따라서 본 연구의 과제를 수행할 때, 날아오는 공의 속도를 빠르고 정확하게 인지하여 그 속도 조건에 적합한 스윙 전략을 선택하고 행하는 것이 공의 다양한 속도 조건에 대처하는 좋은 수행으로 볼 수 있다. 따라서, 선수 집단이 공의 속도 조건에 따라 더 선형적인 변화를 보이는 것은 공의 속도에 더 적극적으로 대응하는 것으로 이해할 수 있다.

제 6 장 결론 및 제언

제 1 절 결론

본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, 선수 집단은 초급자 집단에 비해 신체 분절을 더 큰 각도로 활용하였다. 이는 테이크백 각도와 포워드 회전 각변위 값을 통해 알 수 있었다.

둘째, 선수 집단은 초급자 집단에 비해 타격 시점과 분절의 최대 각속도 시점의 시간차가 작았다. 이는 최대 각속도 시점을 타격 시점에 가깝게 위치시켜, 라켓의 선속도에 상대적으로 더 크게 기여하려는 전략으로 이해할 수 있다.

셋째, 선수 집단의 신체 분절 최대 각속도는 특히 상완에서 초급자 집단에 비해 더 큰 값을 보였다.

넷째, 날아오는 공의 속도가 증가함에 따라 근위 분절들과 원위 분절들의 변화 형태는 평행한 형태를 보이지 않았다. 근위 분절들은 날아오는 공의 속도가 증가함에 따라, 테이크백 각도를 줄이고, 포워드 회전 각변위를 감소시키면서 최대 각속도 역시 감소시킨다. 원위 분절들은 테이크백 각도와 포워드 회전 각변위를 증가시키는 결과를 보였다.

다섯째, 공의 속도가 증가함에 따라 모든 분절의 포워드 회전의 시작 시점과 최대 각속도 시점이 타격 시점에 가까워지는 결과를 보였다.

여섯째, 선수 집단은 초급자 집단에 비해 특히 어깨와 관련된 변인들에서 속도에 따라 더 선형적으로 스윙 전략을 변화시켰다.

제 2 절 제언

본 연구의 결과와 논의 그리고 연구 제한점을 토대로 추후 연구에서의 개선점과 보완점에 대해 제안하고자 한다.

본 연구는 처음 설계할 때, 라켓의 운동학적 변인들도 수집하여 각 신체 분절들이 라켓의 선속도에 미치는 영향을 살펴보려 했지만, 라켓이 타격 시점 근처에서 매우 빠른 속도로 움직일 뿐만 아니라, 실내 테니스 코트가 완전히 자연광을 차단하지 못하는 환경이어서 라켓의 운동학적 변인들을 측정하는데 어려움이 있었다. 추후 연구에서는 환경이나 장비 선택 시 이러한 부분을 더욱 고려해야 한다고 생각한다.

또한, 위와 같은 이유로 공에 붙였던 반사 테이프가 제대로 인식되지 않아, 공의 위치 데이터를 사용할 수 없었다. 본 실험의 데이터를 통해서 선수 집단이 초급자 집단에 비해 더 훌륭한 과제 수행력을 보였는지 정량적으로 판단할 수 없었다. 추후 연구에서는 공을 인식하고 그에 관한 데이터를 제공할 수 있는 장비를 따로 사용하는 것이 좋다고 생각한다.

본 연구에서 밝혀낸 결론은 분절들의 각 움직임에 대한 운동학적 변인들을 집단 간 혹은 속도 조건 간 비교 분석하여 도출하였다. 이때, 각 변인들의 속도에 따른 변화가 서로 다른 변인들의 변화에 끼치는 영향은 분석에서 고려되지 않았고 포핸드 드라이브 스윙에 있어 일차원적인 차이만을 기술하였다. 또한, 본 연구에서 고려했던 골반, 어깨, 상완, 손 이 네 개의 분절 이외에도 하지와 관련된 분절들 역시 스윙 전략에 포함되기 때문에, 분명 그에 따른 상지 분절들의 변화 역시 존재할 것이라 사료된다. 추후 연구에서는 분석 분절들을 하지까지 넓히고, 각 변인들이 서로에게 끼치는 영향을 밝히면 어떤 변인이 스윙 전략의 변경에 있어 핵심적인 역할을 하는지 밝혀낼 수 있을 것이다.

이러한 연구들의 결과는 코칭을 하는데 있어서 학습자가 중점적으로 고려해야 할 사항에 대한 정보를 제공하거나, 현재의 스윙 문제를 파악하는데 있어서 기준 자료로 활용될 수 있다. 따라서, 본 연구를

바탕으로 한 추후 연구들은 테니스 포핸드 드라이브 학습에 있어, 보다 더 효율적이고 효과적인 코칭을 가능케 할 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

강상학. (2002). 운동역학 : 테니스 탑스핀 포핸드 스트록의 운동학적 분석. *한국체육학회지, 41*(3), 557.

심재근, 박재범, 김민주, & 김선진. (2011). 운동의 가변성과 운동요소의 공동작용에 관한 연구: 비제어 다양체 분석을 중심으로. *한국스포츠심리학회지*, *22*(4), 127-142.

Aguinaldo, A. L., Buttermore, J., & Chambers, H. (2007). Effects of upper trunk rotation on shoulder joint torque among baseball pitchers of various levels. *Journal of Applied Biomechanics*, *23*(1), 42-51.

Arimoto, S., Sekimoto, M., Hashiguchi, H., & Ozawa, R. (2005). Natural resolution of ill-posedness of inverse kinematics for redundant robots: A challenge to Bernstein's degrees-of-freedom problem. *Advanced Robotics*, *19*(4), 401-434.

Bahamonde, R. E. (2000). Changes in angular momentum during the tennis serve. *Journal of sports sciences*, *18*(8), 579-592.

Bahamonde, R. E., & Knudson, D. (2003). Kinetics of the upper extremity in the open and square stance tennis forehand. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *6*(1), 88-101.

Beek, P. J., Dessing, J. C., Peper, C. E., & Bullock, D. (2003). Modelling the control of interceptive actions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *358*(1437), 1511-1523.

Beek, P. J., Dessing, J. C., Peper, C. E., & Bullock, D. (2003). Modelling the control of interceptive actions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *358*(1437), 1511-1523.

Bernstein, N. (1967). The co-ordination and regulation of movements. *The co-ordination and regulation of movements*.

Blache, Y., Creveaux, T., Dumas, R., Cheze, L., & Rogowski, I. (2017). Glenohumeral contact force during flat and topspin tennis forehand drives. *Sports biomechanics*, *16*(1), 127-142

Brouwer, A. M., Brenner, E., & Smeets, J. B. (2002). Hitting moving objects: is target speed used in guiding the hand?. *Experimental Brain Research*, *143*(2), 198-211.

Bunn, J. W. (1972). *Scientific principles of coaching*. Prentice Hall.

Busuttil, N. A., Reid, M., Connolly, M., Dascombe, B. J., & Middleton, K. J. (2020). A kinematic analysis of the upper limb during the topspin double-handed backhand stroke in tennis. *Sports biomechanics*, 1-19.

Carboch, J., S□ss, V., & Kocib, T. (2014). Ball machine usage in tennis: movement initiation and swing timing while returning balls from a ball machine and from a real server. *Journal of sports science & medicine*, *13*(2), 304.

Craig, C. M., Bastin, J., & Montagne, G. (2011). How information guides movement: Intercepting curved free kicks in soccer. *Human movement science*, *30*(5), 931-941.

Cross, R., & Lindsey, C. (2014). Measurements of drag and lift on tennis balls in flight. *Sports Engineering*, *17*(2), 89-96.

Davids, K., Savelsbergh, G. J., Bennett, S., & Van der Kamp, J. (Eds.). (2002). Interceptive actions in sport: Information and movement.

Elliott, B., Fleisig, G., Nicholls, R., & Escamilia, R. (2003). Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *6*(1), 76-87.

Elliott, B. (2006). Biomechanics and tennis. *British journal of sports medicine*, *40*(5), 392-396.

Elliott, B., Grove, J. R., Gibson, B., & Thurston, B. (1986). A three-dimensional cinematographic analysis of the fastball and curveball pitches in baseball. *Journal of Applied Biomechanics*, *2*(1), 20-28.

Genevois, C., Reid, M., Creveaux, T., & Rogowski, I. (2018). Kinematic differences in upper limb joints between flat and topspin forehand drives in competitive male tennis players. *Sports biomechanics*.

Harris, C. M., & Wolpert, D. M. (1998). Signal-dependent noise determines motor planning. *Nature*, *394*(6695), 780-784.

Johnson, C. D., & McHugh, M. P. (2006). Performance demands of professional male tennis players. *British journal of sports medicine*, *40*(8), 696-699.

Joris, H. J. J., Van Muyen, A. E., van Ingen Schenau, G. J., & Kemper, H. C. G. (1985). Force, velocity and energy flow during the overarm throw in female handball players. *Journal of biomechanics*, *18*(6), 409-414.

Knudson, D. V., & Blackwell, J. R. (2005). Variability of impact kinematics and margin for error in the tennis forehand of advanced players. *Sports Engineering*, *8*(2), 75-80.

Landlinger, J., Lindinger, S., Stöggl, T., Wagner, H., & Müller, E. (2010). Key factors and timing patterns in the tennis forehand of different skill levels. *Journal of sports science & medicine*, *9*(4), 643.

Latash, M. (Ed.). (2000). There is no motor redundancy in human movements. There is motor abundance. *Motor control*, *4*(3), 259-261.

Latash, M. L., Scholz, J. P., & Schöner, G. (2002). Motor control strategies revealed in the structure of motor variability. *Exercise and sport sciences reviews*, *30*(1), 26-31.

Montagne, G., Laurent, M., Durey, A., & Bootsma, R. (1999). Movement reversals in ball catching. *Experimental Brain Research*, *129*(1), 87-92.

Nielsen, T. M., & McPherson, S. L. (2001). Response selection and execution skills of professionals and novices during singles tennis competition. *Perceptual and motor skills*, *93*(2), 541-555.

Park, J., Jo, H. J., Lewis, M. M., Huang, X., & Latash, M. L. (2013). Effects of Parkinson's disease on optimization and structure of variance in multi-finger tasks. *Experimental brain research*, *231*(1), 51-63.

Putnam, C. A. (1993). Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: descriptions and explanations. *Journal of biomechanics*, *26*, 125-135.

Reid, M., Elliott, B., & Alderson, J. (2008). Lower-limb coordination and shoulder joint mechanics in the tennis serve. *Medicine Science in Sports Exercise*, *40*(2), 308.

Robinson, G., & Robinson, I. (2018). Model trajectories for a spinning tennis ball: I. The service stroke. *Physica Scripta*, *93*(12), 123002.

Rowe, R., Horswill, M. S., Kronvall-Parkinson, M., Poulter, D. R., & McKenna, F. P. (2009). The effect of disguise on novice and expert tennis players' anticipation ability. *Journal of Applied Sport Psychology*, *21*(2), 178-185.

Savelsbergh, G. J. P., Whiting, H. T. A., Burden, A. M., & Bartlett, R. M. (1992). The role of predictive visual temporal information in the coordination of muscle activity in catching. *Experimental brain research*, *89*(1), 223-228.

Savelsbergh, G. J., & Van der Kamp, J. (2000). Information in learning to co-ordinate and control movements: Is there a need for specificity of practice?. *International Journal of Sport Psychology*.

Scholz, J. P., & Schöner, G. (1999). The uncontrolled manifold concept: identifying control variables for a functional task. *Experimental brain research*, *126*(3), 289-306.

Scholz, J. P., Kang, N., Patterson, D., & Latash, M. L. (2003). Uncontrolled manifold analysis of single trials during multi-finger force production by persons with and without Down syndrome. *Experimental Brain Research*, *153*(1), 45-58.

Scholz, J. P., Schöner, G., & Latash, M. L. (2000). Identifying the control structure of multijoint coordination during pistol shooting. *Experimental brain research*, *135*(3), 382-404.

Shimokawa, R., Nelson, A., & Zois, J. (2020). Does ground-reaction force influence post-impact ball speed in the tennis forehand groundstroke?. *Sports biomechanics*, 1-11.

Smeets, J. B., & Brenner, E. (1995). Perception and action are based on the same visual information: distinction between position and velocity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*(1), 19.

Sprigings, E., Marshall, R., Elliott, B., & Jennings, L. (1994). A three-dimensional kinematic method for determining the effectiveness of arm segment rotations in producing racquet-head speed. *Journal of biomechanics*, *27*(3), 245-254.

Teu, K. K., Kim, W., Tan, J., & Fuss, F. K. (2005). Using dual Euler angles for the analysis of arm movement during the badminton smash. *Sports Engineering*, *8*(3), 171-178.

Tresilian, J. R. (1999). Analysis of recent empirical challenges to an account of interceptive timing. *Perception & Psychophysics*, *61*(3), 515-528.

Tyldesley, D. A., & Whiting, H. T. (1975). Operational timing. *Journal of Human Movement Studies*

Sarpeshkar, V., Mann, D. L., Spratford, W., & Abernethy, B. (2017). The influence of ball-swing on the timing and coordination of a natural interceptive task. *Human movement science*, *54*, 82-100.

Zajac, F. E., & Gordon, M. E. (1989). Determining muscle's force and action in multi-articular movement. *Exercise and sport sciences reviews*, *17*(1), 187-230.

Abstract

Effect of ball velocity on the strategy of tennis forehand drive

Yoon-Seok Choi

Department of Physical Education

The Graduate School

Seoul National University

The forehand drive is the second most important skill that often dictates the outcome of a match, and the most frequently hit shot in modern tennis. The purpose of research was to investigate the effect of ball velocity on tennis forehand drive motions of two groups: a varsity (expert) player group and a novice player group whose experience of tennis was under three years. There were three different ball velocity conditions (slow, medium, fast). Difference in kinematic variables for four body segments - pelvis, shoulder, upper arm and hand - were compared between groups and velocity conditions.

First, the variables which showed a significant difference between the two groups regardless of velocity conditions were the angle of takeback of the shoulder and the upper arm, the angular displacement of the upper arm during the forward swing, the timing of the maximum angular velocity of the pelvis, and the maximum angular

velocity of upper arm.

Second, the variables which showed a significant difference between the three ball velocity conditions regardless of group were the angle of takeback, the timing of the initiation of forward rotation, and the timing of the maximum angular velocity of all four segments. The maximum angular velocities of the pelvis and the shoulder, and the angular displacements of the pelvis, shoulder, and upper arm during forward swing also showed significant differences.

Overall, both groups made a change their forehand drive strategy in a similar way to adjust to different ball velocities, although there were differences between two groups. However, for the shoulder, the expert group changed their swing strategy in a more linear fashion in reaction to different ball velocity conditions as compared to their novice conterparts.

keywords : tennis, forehand, velocity, expert, novice
Student Number : 2019-21138