



The Effect of Modified Swing Method on the Muscle Activation Patterns of Upper Limb in Wheelchair Badminton Players

You Joo SHIN¹, Duk Chan JANG², Sangbum PARK³

Received: June 01, 2023. Revised: June 14, 2023. Accepted: June 16, 2023.

Abstract

Purpose: The purpose of this study was to investigate the possibility of modified swing to prevent shoulder injury by analyzing differences in the muscle activation patterns of upper limb by the swing method in wheelchair badminton players. **Research design, data, and methodology:** 10 wheelchair badminton players participated in the experiment as subjects and performed 10 high clears and 10 smashes in both traditional and modified swing methods toward a shuttlecock hung at the height of racket impact point. For each trial, activation patterns of biceps brachii, triceps brachii, anterior deltoid, and posterior deltoid were measured from the upper limb participating in the swing from which the duration, peak, and root mean square (RMS) of electromyography (EMG) activities from swing initiation to shuttle impact were calculated. The maximum swing velocity of the smash and the distance of the high clear were also measured with both methods to compare differences in the swing velocity and shuttle hit distance. **Results:** Differences in the EMG peak and RMS of the anterior deltoid by swing methods were shown to differ by the skill type, being higher in the traditional swing method than the modified during only the high clear. The EMG peak and RMS, and the duration of the posterior deltoid were higher and longer with the traditional swing method than the modified during both the smash and high clear. The intensities of the biceps brachii and triceps brachii activities measured during the smash and high clear were higher in the traditional swing method than the modified, and the biceps brachii and triceps activity durations during the high clear were shorter in the modified swing method than the traditional. The maximum swing velocity of the smash was faster with the traditional swing method than the modified, while the distance of the high clear did not differ significantly. **Conclusions:** These results suggest that the modified swing can be an effective performance method for preventing shoulder injuries without undue loss of impact power in wheelchair badminton players by reducing excessive loads imposed on the shoulder and allowing the optimal use of the elbow extension.

Keywords : Wheelchair badminton, Shoulder injury, Modified swing, EMG

JEL Classification Code : I00, I1, I11, I12, I18

1. Introduction

배드민턴은 여러 신체부절들의 협응을 요구하는 라켓스포츠로서 어깨, 팔꿈치, 손목, 그리고 무릎의 상해를 유발하며, 라켓의 오버헤드 스윙이 지배적으로 사용되므로 장기간에 걸쳐 고강도의 훈련에 참여하는 선수들은 특히 어깨의 상해에 노출되기 쉽다(Biasca & Gerber, 1996; Cejudo, 2020; Kim et al., 2015; Phomsoupha & Laffaye, 2020). 실제로 국제적 수준의 배드민턴 선수들은 대개 훈련과정에서 어깨 통증에 시달리며, 그중 약 52%는 만성적인 어깨통증을 지니는 것으로

1 First Author. Coach, Korea Badminton Association for the Disabled, South Korea. Email: syj5578@naver.com

2 Co-Author. Visiting Professor, Department of Physical Education, Keimyung University, South Korea.

3 Corresponding Author. Professor, Department of Physical Education, Keimyung University, South Korea. Email: sbpark@kmu.ac.kr

로 밝혀졌다(Fahlstrom & Soderman, 2007; Fahlstrom et al., 2006). 이러한 어깨 통증은 기술수준, 훈련강도, 주의력 결핍, 준비운동 부족 등 다양한 원인들에 의해 발생할 수 있으나(Fullerton et al., 2003; Lee, 2014), 가장 직접적인 원인으로는 스트로크 과정에서 어깨와 팔꿈치 관절의 내전 및 외전에 참여하는 근육의 과도한 수축을 들 수 있다(Escamilla & Andrews, 2009; Jorgensen & Winge, 1990; Reeves et al., 2015).

휠체어 배드민턴 선수들의 경우에는 신체적 제약으로 인해 상황이 보다 악화될 수 있다(Petrinovic, 2014; Yuksel, 2018). 배드민턴은 다양한 스트로크의 구사와 함께 코트 내에서의 신속한 움직임을 요구하며, 비장애인선수들은 적절한 스텝을 이용하여 셔틀의 낙하지점으로 신속하게 이동할 수 있으므로 기술의 수행과정에서 관절에 부과되는 부하를 최적화시킬 수 있다(Song et al., 2014). 하지만 휠체어 선수들은 등받이가 고정된 경기용 휠체어를 탄 상태에서 이동해야 하므로 비장애인선수에 비해 셔틀의 낙하지점으로 이동하는 시간이 지연될 수 있다. 특히 셔틀이 수행자의 후방에 낙하되는 경우에는 휠체어를 후방으로 조작해야 하므로 셔틀의 낙하지점으로 이동하는데 더 큰 어려움이 따른다. 이러한 상황에서는 셔틀의 낙하지점으로 충분히 이동하지 못한 상태에서 리턴 샷을 시도하게 되며, 결과적으로 스트로크에 참여하는 관절들, 특히 어깨의 과도한 외전 후 내전과 내측회전이 유발될 수 있다(Bernard et al., 2004; Burnham et al., 1993; Mohd Jamali et al., 2022).

휠체어의 조작을 통한 코트 내에서의 이동이 부과하는 제약은 선수들의 상지운동 패턴에 직접적인 영향을 미칠 수 있으며, 상해예방의 측면에서 볼 때 부적절한 스윙을 유도할 수 있다. 배드민턴의 기술들 중 상지의 신속한 활동을 요구하는 것은 하이클리어와 스매시이며, 어깨나 팔꿈치, 또는 손목에 부과되는 과도한 부하는 이러한 기술들의 수행과정에서 발생한다(Escamilla & Andrews, 2009; Pardiwala et al., 2020). 비장애인선수들의 경우에는 이러한 기술들의 수행을 위해 먼저 셔틀의 낙하지점으로 이동하여 적절한 스탠스를 취하게 된다. 이어서 몸통의 꼬임이 일어나면서, 어깨를 외전시키고, 팔꿈치를 굴곡시키며, 손목은 중립 위치에 두는 준비동작을 취한다. 셔틀을 향한 포워드 스윙시에는 이와 반대로 몸통의 풀림과 더불어, 어깨의 내전과 내측회전, 상지대의 거상, 팔꿈치의 신전, 그리고 손목의 굴곡을 통해 셔틀을 타격하게 된다. 이와 같은 스윙과정에서는 셔틀에 가해지는 임팩트파워가 스탠스를 취하는 디딤발 쪽 다리의 신전, 몸통의 회전, 어깨의 내전과 내측회전, 상지대의 거상, 팔꿈치의 신전, 그리고 손목의 굴곡에 의해 결정되며, 그중 팔꿈치의 신전과 손목의 굴곡이 최종 임팩트 파워에 가장 큰 영향을 미칠 수 있다(Tsai et al., 2008).

반면 휠체어 선수들의 경우에는 신체적 제약으로 인해 하이클리어와 스매시를 수행할 때 발생하는 상지의 운동패턴이 비장애인선수들과 차이를 보인다. 휠체어 선수들도 이러한 기술의 수행을 위해서는 먼저 셔틀의 낙하지점으로 이동해야 하지만, 그 이후에 수행하는 준비동작과 포워드 스윙은 신체적 제약의 영향을 받게 된다. 휠체어 선수들은 벨트를 이용하여 허벅지를 휠체어에 묶고 발을 발판에 고정시킨 상태에서 경기나 연습에 참여한다(Kwon & Kim, 2020; Lee, 2014). 이러한 상태로 셔틀을 치기 위해 준비동작을 취하는 과정에서는 몸통의 꼬임이 거의 일어나지 않고, 몸통의 후굴이 발생한다. 몸통의 불충분한 꼬임으로 인한 임팩트파워의 손실을 보상하기 위해 휠체어 선수들은 어깨를 과도하게 외전시키고, 상지대를 거상시키며, 팔꿈치가 충분히 굴곡 되지 않은 상태에서 손목을 중립 위치에 두는 준비동작을 취하는 경향을 보인다(Lee et al., 2005; Mohd Jamali et al., 2022).

이와 같은 준비동작은 이어지는 포워드 스윙에도 영향을 미치며, 비장애인선수들과는 다른 상지운동 패턴을 유도한다. 준비동작에서 몸통의 꼬임과 팔꿈치의 굴곡이 충분히 일어나지 않았으므로, 휠체어 선수들은 포워드 스윙 시 팔을 들어 올리면서 어깨의 내전과 내측회전, 그리고 손목의 굴곡을 이용하여 셔틀을 타격하게 된다. 팔꿈치의 신전 역시 스윙의 임팩트파워에 어느 정도 기여하지만, 준비동작에서 팔꿈치가 충분히 굴곡 되지 않았으므로 그 기여도는 비장애인선수에 비해 상대적으로 낮아진다. 결과적으로 셔틀에 가해지는 임팩트파워는 주로 어깨의 내전과 내측회전, 그리고 손목의 굴곡에 의해 결정되며, 다른 신체 분절들의 기여도 부족으로 인한 파워 손실을 보상하기 위해 휠체어 선수들은 어깨의 과도한 내전과 내측회전을 일으키게 된다(Bernard et al., 2004; Burnham et al., 1993).

휠체어 선수들에게서 관찰되는 이러한 스윙 특성은 어깨관절에 과도한 부하를 부과함으로써 어깨 상해의 주요 원인으로 작용할 수 있다. 어깨의 내전과 내측회전에 참여하는 근육들 중 이와 같은 스윙 특성의 영향을 가장 많이 받는 근육은 견갑하근(subscapularis)과 전삼각근(deltoid anterior)인 것으로 보인다(Freitas et al., 2019). 스윙의 준비 과정에서 견갑하근과 전삼각근은 과도하게 신전된 상태이며, 포워드 스윙시에는 셔틀에 가해지는 임팩트파워를 높이기 위해 이러한 근육들을 최대한 수축시키게 된다. 이와 같은 근수축 패턴의 반복은 견갑하근건(subscapularis tendon), 전삼각근, 그리고 관절상완 인대(glenohumeral ligaments)의 손상을 야기할 수 있으며 어깨 상해를 유발할 수 있다(Akbar et al., 2015; Mohd Jamali et al., 2022).

휠체어 선수들에게서 이와 같은 스윙 특성이 나타나는 주요 원인은 물론 신체적 제약이지만, 그들이 추구하는 스윙 방

식도 그러한 원인들 중 하나로 작용할 수 있다. 일반적으로 휠체어 선수들은 비장애인선수들이 사용하는 스윙 방식을 학습하고 수행한다. 다시 말해, 몸통의 꼬임과 풀림, 어깨의 외전 및 내전과 내측회전, 상지대의 거상, 팔꿈치의 굴곡과 신전, 그리고 손목의 굴곡을 통해 하이클리어와 스매시를 수행하려고 시도한다는 것이다(Li et al., 2017; Sakurai & Ohtsuki, 2000; Teu et al., 2005). 하지만 휠체어 선수들은 앞서 언급하였던 신체적 제약과 휠체어 탑승으로 인해 몸통의 꼬임이 충분히 이루어지지 않으며, 이러한 상태에서 강력한 스윙을 수행하려고 시도하므로 이어지는 준비동작과 포워드 스윙 과정에서 어깨 관절에 과도한 부담이 부과될 수 있다.

휠체어 선수들의 어깨 상해를 예방하기 위해서는 스윙 특성의 변화가 요구되며, 비장애인선수들과는 다른 스윙 방식의 사용이 그러한 변화를 유도할 수 있다. 하이클리어나 스매시의 수행 시 스윙속도를 증가시키기 위해서는 어깨의 외전각도를 줄이고 팔꿈치의 신전과 손목의 굴곡을 이용하여 셔틀을 치는 것이 효과적이다(Lee, 2014). 비장애인선수들은 여러 신체분절들의 협응을 통해 셔틀콕을 치므로 스윙과정에서 팔꿈치의 신전과 손목의 굴곡이 자연스럽게 발생한다. 하지만 휠체어 선수들의 경우에는 스윙과정에서 팔꿈치의 신전이 충분히 발생하지 않으며, 이로 인한 임팩트파워의 손실을 보상하기 위해 어깨 관절을 과도하게 사용한다. 스윙과정에서 휠체어 선수들의 어깨에 부과되는 과도한 부하를 감소시키면서 팔꿈치의 신전력을 충분히 사용하도록 하려면 어깨의 외전을 최소화시킨 상태에서 팔꿈치를 전상방으로 들어 올려 팔꿈치 관절을 충분히 굴곡시킨 다음, 팔꿈치의 신전과 손목의 굴곡을 통해 포워드 스윙을 실행하는 변형된 스윙 방식의 사용이 요구된다. 이와 같이 변형된 스윙 방식은 어깨에 부과되는 과부하를 경감시킴과 동시에 팔꿈치 관절의 적절한 이용을 유도함으로써 스윙의 임팩트파워는 유지하면서 어깨상해를 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

본 실험의 목적은 휠체어 배드민턴 선수들을 대상으로 스윙 방식에 따른 상지의 근육활동패턴 차이를 분석함으로써 변형된 스윙 방식이 어깨 상해의 예방에 기여할 가능성을 연구하는 것이다. 하이클리어나 스매시를 수행할 때 휠체어 배드민턴 선수들은 전형적으로 어깨의 내전과 내측회전, 그리고 손목의 굴곡을 통해 셔틀을 치는 경향이 있다. 결과적으로 셔틀에 가해지는 임팩트파워의 대부분은 어깨와 손목의 활동에 의해 결정되며, 팔꿈치 신전의 기여도는 낮아진다. 반면, 변형된 스윙 방식은 어깨의 기여도를 낮추면서 팔꿈치의 기여도를 증가시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 가설을 설정하였다. 첫째, 어깨의 내전과 내측회전에 참여하는 근육활동의 강도는 전통적 스윙을 수행할 때보다 변형된 스윙을 수행할 때 더 낮아질 것이다. 둘째, 팔꿈치의 신전에 참여하는 근육활동의 강도는 전통적 스윙을 수행할 때보다 변형된 스윙을 수행할 때 더 높아질 것이다.

2. Method

2.1. Subjects

휠체어 배드민턴 남자 선수 10명($M_{age}=43$, $SD=7.2$, 평균 구력: 7.8년, 장애등급: WH1)이 피험자로 참여하였으며, 이들은 엘리트 수준의 동호인 배드민턴 선수로서 평균 주당 4~5회 연습에 참여하고 있었다. WH1 장애등급은 양하지 완전 마비와 뚜렷한 감각 특성을 지니며, 상지 또는 몸통에는 가볍거나 중간 정도의 장애를 가진다. 피험자들은 모두 오른손잡이였으며, 정상이거나 정상으로 교정된 시력을 보유하고 있었다. 실험에 참여하기 전, 모든 피험자에게 실험절차와 잠재적 위험에 대해 알려 주었으며, 피험자들은 자발적인 실험참여 동의서를 읽고 서명하였다.

2.2. Apparatus

실험도구는 배드민턴 라켓(Nanoflare 800, Yonex, Japan), 셔틀(Mavis 350, Yonex, Japan), 특수 제작된 스윙을 위한 셔틀 고정 장치, 속도 측정기(Stalker Pro2, Stalker Sport, USA), 그리고 근전도(Trigno Wireless EMG System, Delsys Inc., Wellesley, USA)로 구성되었다. 하이클리어와 스매시를 수행할 때 발생하는 상완 이두근의 장두(long head of the biceps brachii), 상완 삼두근의 장두(long head of the triceps brachii), 전 삼각근(anterior deltoid), 그리고 후 삼각근(posterior deltoid)의 활동은 14g의 무선 양극표면 전극들(1cm 간격)에 의해 측정되었다.

근전도 신호들은 1000배 증폭과 2000 Hz의 샘플링 빈도로 측정되었다. 근전도 신호는 저주파 동작과 심전도, 그리고 고주파 노이즈를 제거하기 위해 20~450 Hz의 대역여파기(band-pass filter)를 통해 정류되었다. 근전도 신호는 준비동작 구간, 백스윙 구간, 임팩트 구간, 그리고 팔로스윙 구간의 전 구간에 걸쳐 측정되었으며, 모든 근전도 데이터 처리는 Delsys 시스템의 EMG work analysis를 사용하여 분석되었다.

2.3. Procedure

실험은 휠체어 배드민턴 단식경기 코트에서 피험자별로 실시하였다. 피험자는 라켓의 타점 높이에 매달려 있는 셔틀(피험자별로 일정하게 높이 조정)을 향해 전통적 스윙과 변형된 스윙 방식으로 하이클리어와 스매시를 각각 수행하도록 요구받았다<Figure 1>. 실험 전 피험자가 변형된 하이클리어와 스매시에 익숙해질 수 있도록 충분한 설명과 지도를 하였으며(피험자가 자신이 수행하는 장면에 대한 녹화된 비디오 자료를 추가적으로 보면서 스윙 조건에 대한 차이를 인식하게 만들), 특수 제작된 셔틀 고정 장치에 익숙해질 수 있도록 스윙 조건과 기술 유형의 조합별로 각 10회의 연습 기회를 부여하였다<Figure 2>.



Figure 1: Comparison of swing positions by phase (Top: Modified swing, Bottom: Traditional swing)



Figure 2: Shuttle device designed for performing traditional and modified swings

연습 종료 후, 피험자들은 충분한 휴식을 취한 다음 선행 배드민턴 관련 연구(Sakurai & Ohtsuki, 2000)를 참고하여 본 실험에 맞게 실험절차를 설계하였다. 실험자료의 측정에 앞서 상완 이두근의 장두, 상완 삼두근의 장두, 전 삼각근, 그리고 후 삼각근의 네 부위에 근섬유 방향으로 좌우 대칭인 무선 양극전극을 부착하였다. 전극이 부착되는 부분의 피부는 알코올을 이용하여 사전에 깨끗이 닦아 내었다. 전극을 근육위에 부착할 때 측정의 일관성을 위해 동일한 연구자가 모든 피험자를 대상으로 전극을 부착하였으며, 보조 연구자는 부착 위치를 재확인하였다. 피험자는 두 가지 스윙 조건에서 하이클리어와 스매시를 각각 10회씩, 총 40회의 실험시기를 수행하였다.

스윙 조건과 기술 유형의 순서는 무작위로 결정되었으며, 피험자의 수행과정에 영향을 미치지 않기 위해 수행의 결과에 대한 지식은 제공하지 않았다. 하지만, 실험의 전체 과정에 걸쳐 동기유발 상태를 유지하고 과제지시를 명확히 인식하도록 하기 위해, 각 시기에서의 수행에 앞서 '요구되는 방식으로 스윙하라'는 지시를 제공했다.

근전도 자료의 측정 후, 전통적 스윙 조건과 변형된 스윙 조건 사이의 스윙속도와 셔틀 이동 거리 차이를 비교하기 위해 스매시의 최대 스윙속도와 하이클리어 샷의 이동거리를 측정하였다. 이를 위해 배드민턴 선수경력이 10년 이상인 셔틀 공급자가 서비스라인의 중앙에서 반대편 코트의 중앙과 엔드라인을 향해 셔틀을 공급하였다. 피험자는 먼저 인플레이션 라인의 중앙에 대기하고 있다가, 날아오는 셔틀에 대해 전통적 스윙과 변형된 스윙 조건에서 스매시를 각각 10회 수행하였다. 이때 코트의 반대편에 설치된 속도 측정기를 통해 스매시의 최대 스윙속도를 측정하였다. 이어서 코트의 엔드라인으로 위치를 이동한 피험자는 하이클리어 수행을 통해 셔틀 공급자에 의해 공급된 셔틀을 반대편 코트로 최대한 멀리 보냈으며(10회), 실험자는 셔틀이 떨어진 지점에 표시를 하고 거리를 측정하였다. 이 과정에서 피험자에게 수행에 대한 결과지식은 제공하지 않았으며, 동기유발과 과제지시를 명확히 인식하도록 하기 위해 '최대한 강하게 타격하라'는 지시를 제공하였다.

2.4. Data Analysis

실험에서 측정된 자료로부터 다음과 같은 변수들을 계산하였다.

2.4.1. Electromyography(EMG)

네 부위로부터 측정된 근전도 자료를 이용하여 각 근육별로 다음과 같은 변수들을 계산하였다.

[1]. 스윙 국면 동안의 근육활동 기간(근전도 기간): 하이클리어와 스매시 스윙 동안 스윙 개시지점으로부터 임팩트 시점까지 측정된 상완 이두근의 장두, 상완 삼두근의 장두, 전 삼각근, 그리고 후 삼각근 활동의 기간

[2]. 스윙 국면 동안의 근육활동 최대치(근전도 피크): 하이클리어와 스매시 스윙 동안 스윙 개시지점으로부터 임팩트 시점까지 측정된 상완 이두근의 장두, 상완 삼두근의 장두, 전 삼각근, 그리고 후 삼각근 활동의 최대치

[3]. 스윙 국면 동안의 근육활동 강도(근전도 평균제곱근): 하이클리어와 스매시 스윙 동안 스윙 개시지점으로부터 임팩트 시점까지 측정된 상완 이두근의 장두, 상완 삼두근의 장두, 전 삼각근, 그리고 후 삼각근 활동의 평균제곱근

계산된 변수들은 스윙 조건과 기술 유형별로 평균화되었으며, 각 근육별로 평균화된 변수들에 대해 반복측정된 2 스윙 조건(전통, 변형) x 2 기술 유형(하이클리어, 스매시)의 이원분산분석을 실시하였다. 두 변수의 상호작용이 유의할 경우에는 사후검증을 위해 한 변수의 각 수준별로 다른 변수가 지닌 수준들 사이의 차이에 대한 분석을 실시하였으며, 모든 자료분석의 유의수준은 5%로 설정하였다.

2.4.2. Smash Velocity and High Clear Distance

[1]. 스매시 속도: 전통적 스윙과 변형된 스윙 방식으로 스매시를 수행하는 동안 측정된 스윙의 최대 속도

[2]. 하이클리어 거리: 전통적 스윙과 변형된 스윙 방식으로 수행된 하이클리어 샷의 이동거리

스윙 조건에 따른 스매시의 속도와 하이클리어 거리 차이에 대해 대응표본 t-검정을 수행하였으며, 모든 자료분석의 유의수준은 5%로 설정하였다.

3. Results

3.1. EMG Durations of Muscles

3.1.1. Biceps Brachii

상완 이두근의 근전도 기간 분석에서는 스윙 조건($F(1,9)=21.08, p<.01$)의 주효과만 유의한 것으로 나타났다<Figure 3>. 스윙 조건의 주효과에 대한 사후검증 결과, 상완 이두근의 근전도 기간은 전통 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 큰 것으로 나타났다($p<.01$). 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=0.65, p>.05$)은 유의하지 않았다.

3.1.2. Triceps Brachii

상완 삼두근에 대한 근전도 기간 분석에서는 스윙 조건($F(1,9)=18.36, p<.01$)의 주 효과가 유의한 것으로 나타났다. 스윙 조건의 주효과에 대한 사후검증 결과, 상완 삼두근의 근전도 기간은 전통 스윙 조건보다 변형 스윙 조건에서 짧은 것으로 나타났다($p<.01$). 하지만 기술 유형의 주효과($F(1,9)=0.61, p>.05$)는 유의하지 않았다. 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=6.27, p<.05$) 역시 유의하게 나타났으며, 이는 스윙 조건의 차이가 기술 유형에 따라 달라지거나 기술 유형의 차이가 스윙 조건에 따라 달라질 수 있음을 의미한다<Figure 4>. 기술 유형별로 스윙 조건 사이의 차이를 사후

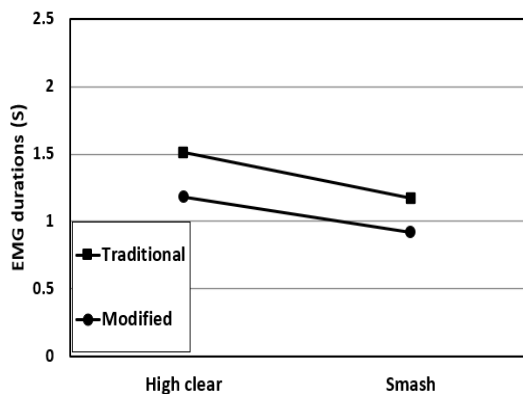


Figure 3: EMG duration of long head of the biceps brachii by swing condition and technique type

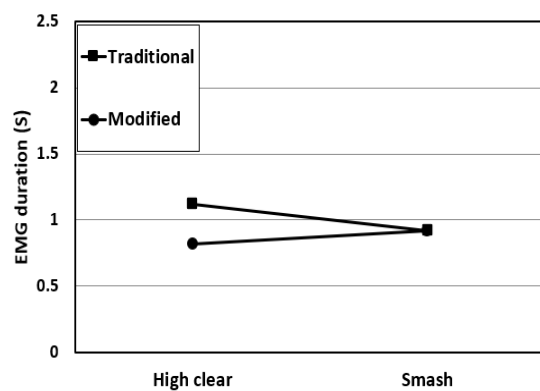


Figure 4: EMG duration of long head of the triceps brachii by swing condition and technique type

검증한 결과, 하이클리어에서는 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서의 근전도 기간이 짧은 것으로 나타났으나 ($p<.01$), 스매시에서는 전통적 스윙 조건과 변형된 스윙 조건 사이의 차이가 없었다($p>.05$). 스윙 조건별로 기술 유형 사

이의 차이를 사후검증한 결과, 전통적 스윙 조건에서는 하이클리어보다 스매시에서의 근전도 기간이 짧은 것으로 나타났으나($p < .05$), 변형된 스윙 조건에서는 하이클리어와 스매시 사이의 차이가 없었다($p > .05$).

3.1.3. Anterior Deltoid

전 삼각근의 근전도 기간에 대한 분석에서는 기술 유형($F(1,9)=47.77, p < .001$)의 주효과만 유의한 것으로 나타났다 <Figure 5>. 기술 유형의 주효과에 대한 사후검증 결과, 전 삼각근의 근전도 기간은 하이클리어보다 스매시에서 짧은 것으로 나타났다($p < .001$). 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=0.76, p > .05$)은 유의하지 않았다.

3.1.4. Posterior Deltoid

후 삼각근의 근전도 기간에 대한 분석에서는 스윙 조건($F(1,9)=10.11, p < .05$)과 기술 유형($F(1,9)=12.73, p < .01$)의 주효과가 유의한 것으로 나타났다. 스윙 조건의 주효과에 대한 사후검증 결과, 후 삼각근의 근전도 기간은 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 짧은 것으로 나타났다($p < .05$). 기술 유형의 주효과에 대한 사후검증에서는 후 삼각근의 근전도 기간이 하이클리어보다 스매시에서 짧은 것으로 나타났다($p < .01$). 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=5.74, p < .05$) 역시 유의하게 나타났으며, 이는 스윙 조건 사이의 차이가 기술 유형에 따라 달라지거나 기술 유형 사이의 차이가 스윙 조건에 따라 달라질 수 있음을 의미한다 <Figure 6>. 기술 유형별로 스윙 조건 사이의 차이를 사후검증한 결과, 하이클리어에서는 전통적 스윙보다 변형된 스윙 조건에서의 근전도 기간이 짧은 것으로 나타났으나($p < .01$), 스매시에서는 스윙 조건 사이의 근전도 기간 차이가 없었다($p > .05$). 스윙 조건별로 기술 유형 사이의 차이를 사후검증한 결과, 전통 스윙에서는 하이클리어보다 스매시에서의 근전도 기간이 짧은 것으로 나타났으나($p < .01$), 변형된 스윙 조건에서는 하이클리어와 스매시 사이의 차이가 없었다($p > .05$).

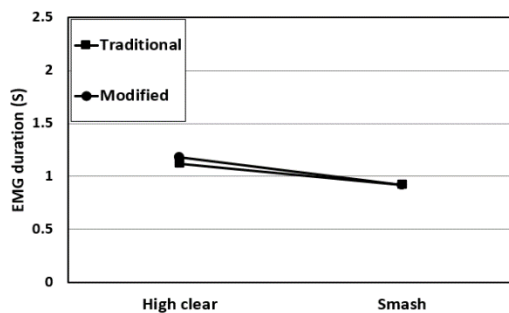


Figure 5: EMG duration of anterior deltoid by swing condition and technique type

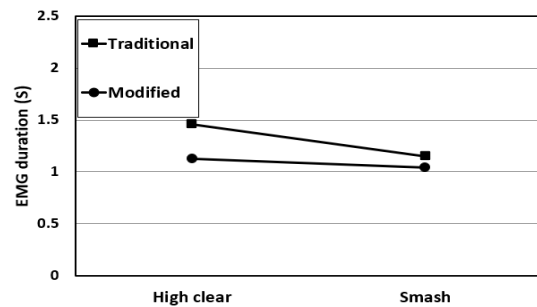


Figure 6: EMG duration of posterior deltoid by swing condition and technique type

3.2. EMG Peaks of Muscles

3.2.1. Biceps Brachii

상완 이두근에 대한 근전도 피크에 대한 분석에서는 스윙 방식($F(1,9)=0.66, p > .05$)과 스윙 유형($F(1,9)=2.26, p > .05$)의 주효과가 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=2.17, p > .05$) 역시 유의하지 않았다.

3.2.2. Triceps Brachii

상완 삼두근의 근전도 피크 분석에서는 스윙 조건($F(1,9)=8.66, p < .05$)과 기술 유형($F(1,9)=5.17, p < .05$)의 주효과가 유의한 것으로 나타났다 <Figure 7>. 스윙 방식의 주효과에 대한 사후검증 결과, 상완 삼두근의 근전도 피크는 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 더 낮은 것으로 나타났다($p < .05$). 기술 유형의 주효과에 대한 사후검증 결과, 상완 삼두근의 근전도 피크는 하이클리어보다 스매시에서 더 높은 것으로 나타났다($p < .05$). 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=3.61, p > .05$)은 유의하지 않았다.

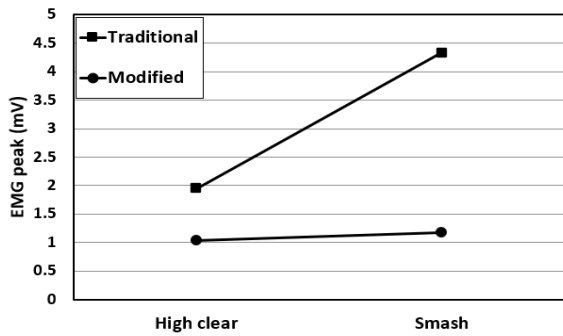


Figure 7: EMG peak of long head of the triceps brachii by swing condition and technique type

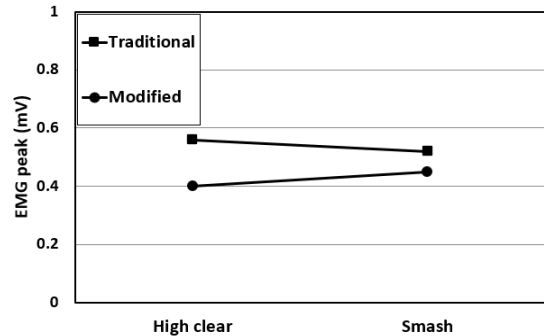


Figure 8: EMG peak of anterior deltoid by swing condition and technique type

3.2.3. Anterior Deltoid

전 삼각근의 근전도 피크에 대한 분석에서는 스윙 조건의 주효과($F(1,9)=8.92, p<.05$)가 유의한 것으로 나타났다. 스윙 조건의 주효과에 대한 사후검증 결과, 전 삼각근의 근전도 피크는 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 더 낮은 것으로 나타났다($p<.05$). 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=6.87, p<.05$) 역시 유의하게 나타났으며, 이는 스윙 조건 사이의 차이가 기술 유형에 따라 달라지거나 기술 유형의 차이가 스윙 조건에 따라 달라질 수 있음을 의미한다 <Figure 8>. 기술 유형별로 스윙 조건 사이의 차이를 사후검증한 결과, 하이클리어에서는 전통적 스윙보다 변형된 스윙 조건에서의 근전도 피크가 더 낮은 것으로 나타났으나($p<.01$), 스매시에서는 스윙 조건 사이의 차이가 없었다($p>.05$). 스윙 조건별로 기술 유형의 차이를 사후검증한 결과, 전통적 스윙 조건에서는 하이클리어와 스매시 사이의 근전도 피크 차이가 없었으나($p>.05$), 변형된 스윙 조건에서는 하이클리어보다 스매싱에서의 피크가 높았다($p<.05$).

3.2.4. Posterior Deltoid

후 삼각근에 대한 근전도 피크에 대한 분석에서는 스윙 조건($F(1,9)=4.76, p<.05$)의 주효과만 유의한 것으로 나타났다 <Figure 9>. 스윙 조건의 주효과에 대한 사후검증 결과, 후 삼각근의 근전도 피크는 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 더 낮은 것으로 나타났다($p<.05$). 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=1.96, p>.05$)은 유의하지 않았다.

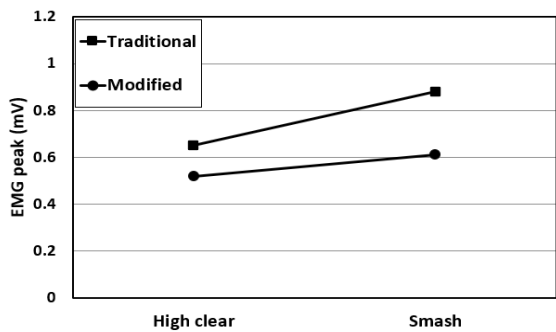


Figure 9: EMG peak of posterior deltoid by swing condition and technique type

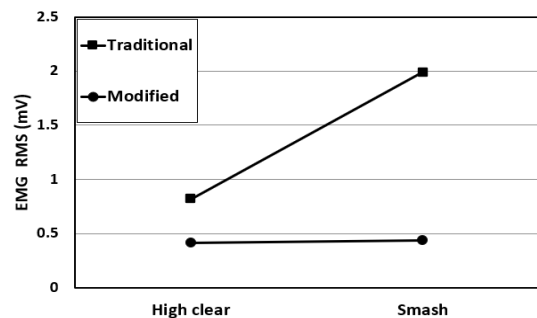


Figure 10: EMG root mean square of long head of the triceps brachii by swing condition and technique type

3.3. EMG Root Mean Squares of Muscles

3.3.1. Biceps Brachii

상완 이두근의 근전도 평균제곱근에 대한 분석에서는 스윙 조건($F(1,9)=0.76, p>.05$)과 기술 유형의 주효과($F(1,9)=2.15, p>.05$)가 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=1.92, p>.05$) 역시 유의하지 않았다.

3.3.2. Triceps Brachii

상완 삼두근의 근전도 평균제곱근에 대한 분석에서는 스윙 조건($F(1,9)=6.16, p<.05$)의 주효과가 유의한 것으로 나타났다(Figure 10). 스윙 조건의 주효과에 대한 사후검증 결과, 상완 삼두근의 근전도 평균제곱근은 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 더 작은 것으로 나타났다($p<.05$). 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=3.35, p>.05$)은 유의하지 않았다.

3.3.3. Anterior Deltoid

전 삼각근의 근전도 평균제곱근에 대한 분석에서는 스윙 조건($F(1,9)=11.50, p<.01$)의 주효과가 유의한 것으로 나타났다. 스윙 조건의 주효과에 대한 사후검증 결과, 전 삼각근의 근전도 평균제곱근은 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 더 작은 것으로 나타났다($p<.05$). 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=5.87, p<.05$) 역시 유의하게 나타났으며, 이는 스윙 조건 사이의 차이가 기술 유형에 따라 달라지거나 기술 유형의 차이가 스윙 조건에 따라 달라질 수 있음을 의미한다(Figure 11). 기술 유형별로 스윙 조건 사이의 차이를 사후검증한 결과, 하이클리어에서는 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서의 근전도 평균제곱근이 더 작은 것으로 나타났으나($p<.01$), 스매시에서는 스윙 조건 사이의 차이가 없었다($p>.05$). 스윙 조건별로 기술 유형 사이의 차이를 사후검증한 결과, 전통적 스윙조건과 변형된 스윙 조건 모두에서 기술 유형 사이의 근전도 평균제곱근 차이가 없었다($p>.05$).

3.3.4. Posterior Deltoid

후 삼각근의 근전도 평균제곱근에 대한 분석에서는 스윙 조건($F(1,9)=5.68, p<.05$)의 주효과만 유의한 것으로 나타났다(Figure 12). 스윙 조건의 주효과에 대한 사후검증 결과, 후 삼각근의 근전도 평균제곱근은 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 더 작은 것으로 나타났다($p<.05$). 스윙 조건과 기술 유형의 상호작용($F(1,9)=2.23, p>.05$)은 유의하지 않았다.

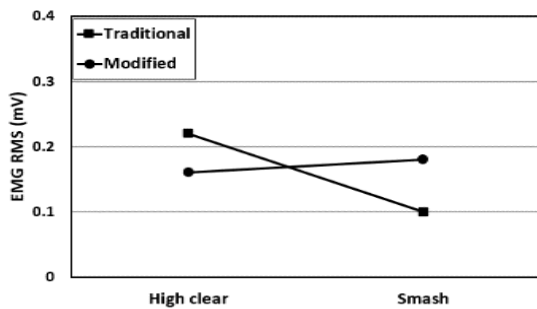


Figure 11: EMG root mean square of anterior deltoid by swing condition and technique type

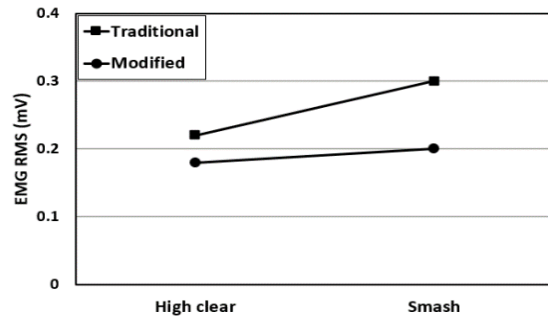


Figure 12: EMG root mean square of posterior deltoid by swing condition and technique type

3.4. Smash Velocity and High Clear Distance

3.4.1. Smash Velocity

스매시 속도는 스윙 조건에 따라 유의한 차이를 보였으며($t=3.79, p<.01$), 변형된 스윙 조건보다 전통적 스윙 조건에서 유의하게 빠른 것으로 나타났다(Figure 13).

3.4.2. High Clear Distance

하이클리어 거리는 스윙 조건에 따른 차이를 보이지 않았다($t=0.96, p>.05$).

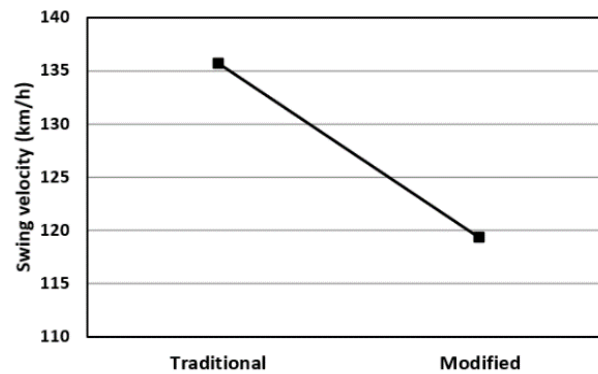


Figure 13: Swing velocity by swing condition

4. Discussion

휠체어 배드민턴 선수들은 몸통의 꼬임과 팔꿈치의 굴곡이 충분하지 않은 상태에서 어깨의 내전과 내측회전, 그리고 손목의 굴곡을 통해 임팩트 파워를 얻게 되며, 이러한 스윙의 반복적인 수행은 어깨 상해를 유발시킬 수 있다. 실제로 장기간에 걸쳐 훈련에 참여하는 배드민턴 선수들의 상당수는 어깨의 통증을 지니는 것으로 나타났으며(Fahlstrom & Soderman, 2007; Fahlstrom et al., 2006; Mohd Jamali et al., 2022), 하지와 몸통을 자유로이 사용할 수 없는 상태에서 상체를無理하게 비틀면서 어깨에 과도한 부하를 부과하는 방식으로 스윙해야 하는 휠체어 배드민턴 선수는 어깨의 회전근 증후군에 보다 쉽게 노출될 수 있다(Burnham et al., 1993).

본 연구에서는 어깨의 외전을 최소화시킨 상태에서 팔꿈치를 전방향으로 들어 올려 충분히 굴곡 시킨 다음 팔꿈치의 신전과 손목의 굴곡을 통해 포워드 스윙을 실행하는 변형된 스윙 방식이 상지의 근육활동패턴에 미치는 영향을 분석하였으며, 변형된 스윙 방식이 전통적 스윙 방식에 비해 어깨의 내전과 내측회전에 참여하는 근육활동의 강도는 감소시키는 반면 팔꿈치 신전에 참여하는 근육활동의 강도는 증가시킬 것이라는 가설을 설정하였다. 연구결과는 첫 번째 가설을 지지하였으나, 두 번째 가설은 지지하지 않았다.

스매시와 하이클리어의 수행 시에 측정된 어깨와 상완의 근육활동 강도는 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 낮아지는 것으로 밝혀졌으며, 이러한 결과는 변형된 스윙 방식의 사용이 어깨에 부과되는 부하를 감소시킬 수 있음을 시사한다. 전 삼각근에서 측정된 근전도 피크와 평균제곱근의 경우 스매시에서는 스윙 조건 사이의 차이가 없었으나, 하이클리어에서는 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 낮아지는 것으로 나타났다. 후 삼각근의 활동기간과 근전도 피크, 그리고 평균제곱근 역시 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 낮아지는 것으로 밝혀졌으며, 이러한 결과는 스윙 방식이 어깨 근육의 활동 강도에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

배드민턴은 공격과 수비의 측면에서 오버헤드 스트로크를 사용하는 하이클리어와 스매시 기술이 많이 이용되며, 이러한 기술은 어깨의 상해와 관련성이 높다(Akbar et al., 2015; Cejudo, 2020; Cobiella, 2004; Pardiwala et al., 2020; Phomsoupha & Laffaye, 2020). 특히 휠체어 배드민턴 선수들은 신체적 제약으로 인해 비장애인과 달리 상반신의 회전없이 상체와 팔의 힘으로만 스윙해야 하므로 어깨의 상해에 보다 쉽게 노출되며, 회전근개 파열을 비롯한 증후군의 발병 비율이 다른 종목의 선수들보다 약 2.3배 높은 것으로 나타났다(Akbar et al., 2015; Economopoulos & Brockmeier, 2012). 휠체어 배드민턴 선수들의 어깨 부상을 예방하고 운동수행능력을 향상시키기 위해서는 훈련과 경기과정에서 전통적인 스윙 방식을 대체하는 새로운 스윙 방식을 적용할 필요가 있으며, 본 연구의 결과는 팔꿈치의 충분한 굴곡과 신전을 활용하여 스윙하는 변형된 스윙 방식이 전 삼각근과 후 삼각근의 내·외전 수축을 감소시킴으로써 어깨의 상해 위험을 감소시킬 수 있음을 시사한다.

스윙 개시시점으로부터 임팩트 시점까지의 후 삼각근 근육활동 기간은 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 짧은 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 스윙과정에서 어깨의 외전 활동이 상대적으로 많이 발생하는 전통적 스윙의 특성에 의해 나타난 것으로 보인다. 셔틀에 가해지는 임팩트파워는 주로 어깨의 내전과 내측회전, 그리고 손목의 굴곡에 의해 결정된다(Tsai et al., 2008). 배드민턴의 경우 정확한 타구 위치의 선정을 위해 사전에 해당 위치로 움직인 상태에서

준비 동작을 취해야 하지만, 휠체어 배드민턴 선수들은 신체적 제약에 따른 이동의 제한으로 준비가 덜 된 상태에서 과도한 어깨의 내·외전을 통해 스윙을 하게 되며(Bernard et al., 2004; Burnham et al., 1993) 이 과정에서 어깨 근육활동의 기간, 피크, 그리고 강도가 증가될 수 있다.

스윙방식에 따른 전 삼각근의 근전도 피크와 평균제곱근 차이가 하이클리어에서만 나타난 이유는 기술 유형의 특성에서 찾을 수 있다. 스매시는 셔틀이 정점에 있을 때 높은 타점에서 수행되는 빠르고 강한 타구를 바탕으로 한 스윙으로 수행자가 충분한 시간적 여유가 있을 때 구사할 수 있는 기술인 반면, 하이클리어는 스매시에 비해 낮은 타점과 시간적 여유가 충분히 없을 때 수행되는 기술이다(Jo et al., 2013; Lee et al., 2020). 신체적 제약으로 인해 이동에서 제한을 받는 휠체어 배드민턴 선수의 경우, 하이클리어를 수행할 때 과도한 외전을 포함하고 있는 전통적 스윙 방식에 비해 변형된 스윙 방식에서 근육활동의 피크와 강도가 낮아질 수 있다. 하지만 스매시의 경우에는 스윙을 준비하는데 충분한 시간이 있었으므로 어깨의 최대 근육 활동과 평균 활동 강도에서 스윙 조건 사이의 차이가 나타나지 않았을 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 변형된 스윙 방식은 어깨의 내전과 내측회전에 참여하는 근육의 활동 강도를 감소시킬 수 있으며 이는 어깨에 부과되는 부하의 감소로 이어질 수 있다. 이러한 스윙 방식은 셔틀에 가해지는 임팩트 파워를 감소시킬 수 있으므로 이를 보상하기 위해서는 팔꿈치 신전의 기여도가 증가되어야 한다. 본 연구에서는 팔꿈치의 신전에 참여하는 근육활동의 강도가 전통적 스윙을 수행할 때보다 변형된 스윙을 수행할 때 더 높아질 것이라는 가설을 설정하였으나, 상완 삼두근의 활동패턴은 그러한 가설을 지지하지 않았다. 스매시와 하이클리어의 수행 시에 측정된 상완의 근육활동 강도는 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 오히려 낮아지는 것으로 밝혀졌으며, 이러한 결과는 변형된 스윙 방식이 팔꿈치 신전 속도를 감소시킬 수 있음을 시사한다. 하이클리어에서 관찰된 상완 이두근과 상완 삼두근의 활동기간은 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 짧아지는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 스윙 방식이 팔꿈치의 굴곡과 신전패턴에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

휠체어 배드민턴 선수들은 비장애인선수들이 사용하는 스윙 방식을 연습하고 사용하는데, 그러한 스윙 방식은 휠체어 배드민턴 선수들이 지닌 신체적 제약으로 인해 스윙에 참여하는 상지 관절에 과도한 부담을 부과할 수 있다. 비장애인선수들은 몸통의 꼬임과 풀림, 어깨의 외전 및 내전과 내측회전, 상지대의 거상, 팔꿈치의 굴곡과 신전, 그리고 손목의 굴곡을 통해 하이클리어와 스매시를 수행한다(Li et al., 2017; Sakurai & Ohtsuki, 2000; Teu et al., 2005). 하지만 휠체어 배드민턴 선수들은 몸통의 꼬임이 충분하지 않으며, 이러한 상태에서 강력한 스윙을 수행하려고 시도하므로 이어지는 준비동작과 포워드 스윙과정에서 어깨 관절에 과도한 부하를 부과함과 동시에 팔꿈치 관절의 손상이 발생할 수 있다(Zheng et al., 2019).

비장애인선수들은 여러 신체부절들의 협응을 통해 셔틀을 치므로 스윙과정에서 팔꿈치의 신전과 손목의 굴곡이 보다 자연스럽게 발생한다. 하지만 휠체어 배드민턴 선수들은 스윙과정에서 팔꿈치의 신전이 충분하게 발생하지 않으며, 이로 인한 임팩트 파워의 손실을 보상하기 위해 어깨 관절을 과도하게 사용하는 경향이 있다(Mohd Jamali et al., 2022; Zheng et al., 2019). 본 연구에서 사용된 변형된 스윙 방식은 전통적 스윙 방식에 비해 어깨 근육의 활동 강도를 감소시키는 것으로 나타났으나, 팔꿈치 신전에 참여하는 근육활동의 증가는 나타나지 않았다. 변형된 스윙 방식은 어깨에 부과되는 부하를 감소시키고 동시에 팔꿈치와 손목의 사용을 증가시킬 것으로 기대된다. 휠체어 배드민턴 선수들은 장기간에 걸친 연습과정에서 전통적 스윙 방식에 익숙해져 있으며, 전통적 스윙은 전 삼각근과 후 삼각근의 과도한 개입으로 인해 팔꿈치나 손목의 사용을 제한하는 경향이 있다(Senadheera et al., 2019). 하지만 변형된 스윙 방식은 어깨의 외전을 최소화시킨 상태에서 팔꿈치를 전상방으로 들어 올림으로써 팔꿈치 관절의 충분한 굴곡과 신전을 허용할 수 있다. 실제로 실험장면을 녹화한 영상에서는 변형된 스윙 방식으로 스매시와 하이클리어를 수행할 때 팔꿈치의 굴곡과 신전이 원활하게 일어나는 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 변형된 스윙 조건에서 측정된 상완 삼두근 활동의 강도가 전통적 스윙 조건보다 낮았다는 사실은 새로운 스윙 방식에 대한 연습의 부족으로 인해 변형된 스윙 조건에서는 팔꿈치 신전에 참여하는 근육의 활동 강도를 충분히 증가시킬 수 없었음을 시사한다. 본 실험에서는 변형된 스윙 방식에 대한 충분한 연습을 제공하지 않았으므로 피험자들은 변형된 스윙을 하는 동안 어깨 근육의 강도는 감소시킬 수 있었으나 상완 삼두근의 수축강도를 증가시키는 데는 어려움을 겪었을 수 있다.

상완 이두근과 상완 삼두근의 근전도 기간은 전통적 스윙 조건보다 변형된 스윙 조건에서 짧았으며, 이러한 결과는 팔꿈치의 굴곡 및 신전이 변형된 스윙 조건에서 보다 빠르게 이루어질 수 있음을 시사한다. 휠체어 배드민턴 선수는 훈련이나 경기상황에서 코트 내에서의 이동성에 제약을 지니고 있으므로(Back, 2005), 변형된 스윙 방식이 팔꿈치의 굴곡과 신전속도를 증가시킬 수 있다는 사실은 휠체어 조작의 미숙과 복잡성으로 인해 타구 위치의 선정이 늦어질

경우에도 수행을 준비할 수 있는 시간적 여유를 제공함으로써 효율적인 스윙을 구사할 가능성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

수행결과와 측면에서 볼 때, 스윙 방식은 스매시의 속도에는 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 하이클리어 샷의 거리에는 영향을 미치지 않았다. 변형된 스윙 방식은 전통적 스윙 방식에 비해 어깨의 근육활동을 감소시킴으로써 어깨에 부과되는 부하를 줄일 수 있으나, 그로 인해 임팩트파워의 손실을 유도할 수 있다. 실제로 스매시 속도는 스윙 조건에 따라 달라졌으며, 전통적 스윙 조건에서는 135km/h로 나타났으나 변형된 스윙 조건에서는 119km/h로 감소되었다. 이러한 결과는 변형된 스윙 방식이 타구 시의 임팩트 파워를 약화시킬 수 있음을 시사하지만, 하이클리어 거리에서는 스윙 조건에 따른 차이가 나타나지 않았으므로 스윙 방식과 임팩트파워의 관계는 추가적인 연구를 필요로 한다. 비장애인 배드민턴 경기에서 기술의 사용빈도는 드롭샷, 스매시, 그리고 하이클리어의 순서로 나타났다(Lyu & Kim, 2003). 반면, 휠체어 배드민턴 선수들은 코트 내에서의 이동에 제약이 있으므로 빠르고 강한 스매시를 사용할 수 있는 기회가 부족하며, 실제 경기에서 하이클리어, 드롭샷, 헤어핀, 그리고 스매시의 순서로 기술들을 사용하는 것으로 나타났다(de Oliveira & de Almeida, 2020; Kwon & Kim, 2020). 결과적으로 휠체어 배드민턴의 경우 스매시보다는 하이클리어의 사용이 경기력에 보다 큰 영향을 미칠 수 있으므로, 변형된 스윙 방식은 어깨와 팔꿈치 관절의 손상을 예방하는 긍정적 측면을 지닐 수 있다.

5. Conclusion

종합해 볼 때, 본 실험의 결과는 어깨에 부과되는 과도한 부하를 감소시키면서 팔꿈치의 신전력을 충분히 사용할 수 있도록 허용하는 변형된 스윙 방식이 휠체어 배드민턴 선수들의 어깨 상해를 예방하는데 기여할 수 있음을 시사한다. 휠체어 배드민턴 선수들은 비장애인과 다른 신체적 특성과 휠체어 조작이라는 수행상의 특수성을 지닌다. 그럼에도 불구하고 휠체어 배드민턴 선수들과 지도자들은 비장애인과 동일한 스윙 기전을 추구하며, 이러한 과정에서 어깨 및 주변 근육을 과도하게 사용하는 과외전된 스윙을 수행함으로써 어깨 상해의 위험에 노출되어 왔다. 변형된 스윙 방식이 팔꿈치 신전과 손목 굴곡에 참여하는 상완 삼두근과 손목굴근의 활동을 증가시키지는 않았으나 스매시의 스윙속도와 하이클리어 샷 이동거리의 현저한 감소는 발생하지 않았으므로, 본 연구의 결과는 변형된 스윙 방식이 임팩트파워의 지니친 손실 없이 경기력을 개선하고 어깨의 상해 예방에 기여하는 효과적인 훈련방법이 될 수 있음을 시사한다.

스윙 방식의 변화가 휠체어 배드민턴 선수의 어깨 상해 예방에 기여할 수 있고 현장에서 보다 안전하고 효과적인 훈련방법이 되기 위해서는 다음과 같은 추가 요인들을 고려할 필요가 있다. 배드민턴의 스윙은 국면별로 준비, 백스윙, 임팩트, 그리고 팔로스루로 더욱 세분화될 수 있다. 따라서 변형된 스윙의 현장 적용 가능성을 보다 체계적으로 파악하기 위해서는 스윙 국면별 영상 자료와 근육활동패턴을 동기화함으로써 각 스윙 국면별 근육활동패턴을 추가적으로 분석할 필요가 있다. 이와 더불어, 현재 적용된 변형된 스윙 방법이 휠체어 배드민턴 선수의 상지 근육활동패턴에 미치는 영향은 장애의 정도에 따라 달라질 것으로 기대되므로, 변형된 스윙 방식이 어깨 상해의 예방에 기여할 가능성에 대한 보다 폭넓은 이해를 위해서는 다양한 장애등급의 선수들을 대상으로 장애의 정도에 따른 스윙 방식의 효과 차이를 연구할 필요가 있다.

References

- Akbar, M., Brunner, M., Ewerbeck, V., Wiedenhofer, B., Grieser, T., Bruckner, T., Loew, M., & Raiss, P. (2015). Do overhead sports increase risk for rotator cuff tears in wheelchair users? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(3), 484-488.
- Back, J. H. (2005). A Research on characteristics in wheelchair sports. *Korean Journal of Coaching Development*, 7(1), 83-93.
- Bernard, P. L., Codine, P., & Minier, J. (2004). Isokinetic shoulder rotator muscles in wheelchair athletes. *Spinal Cord*, 42(4), 222-229.
- Biasca, N., & Gerber, C. (1996). Assessment of shoulder pain in athletes. *Praxis*, 85(37), 1123-1135.
- Burnham, R. S., May, L., Nelson, E., Steadward, R., & Reid, D. C. (1993). Shoulder pain in wheelchair athletes: The role of muscle imbalance. *The American Journal of Sports Medicine*, 21(2), 238-242.
- Cejudo, A. (2020). Risk factors for, and prediction of, shoulder pain in young badminton players: A prospective cohort study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13095. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013095>

- Cobiella, C. E. (2004). Shoulder pain in sports. *Hospital Medicine*, 65(11), 652-656.
- de Oliveira, M. R. W., & de Almeida, M. B. (2020). Performance analysis in wheelchair para-badminton matches. *International Journal of Racket Sports Science*, 2(1), 22-31.
- Economopoulos, K. J., & Brockmeier, S. F. (2012). Rotator cuff tears in overhead athletes. *Clinics in Sports Medicine*, 31(4), 675-692.
- Escamilla, R. F., & Andrews, J. R. (2009). Shoulder muscle recruitment patterns and related biomechanics during upper extremity sports. *Sports Medicine*, 39(7), 569-590.
- Fahlstrom, M., & Soderman, K. (2007). Decreased shoulder function and pain common in recreational badminton players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 17(3), 246-251.
- Fahlstrom, M., Yeap, J. S., Alfredson, H., & Soderman, K. (2006). Shoulder pain: A common problem in world class badminton players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(3), 168-173.
- Freitas, P. S., Santana, T. S., Manoel, L. S., Serenza, F. D. S., & Riberto, M. (2019). A comparison of isokinetic rotator cuff performance in wheelchair basketball athletes vs. non-athletes with spinal cord injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 16, 1-6.
- Fullerton, H. D., Borckardt, J. J., & Alfano, A. P. (2003). Shoulder pain: A comparison of wheelchair athletes and nonathletic wheelchair users. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(12), 1958-1961.
- Jo, A. R., Yoo, S. H., & Yoon, S. H. (2013). The kinematic analysis of upper extremities for badminton smash and drop motions depends on the player's level. *Korean Journal of Sports Biomechanics*, 23 (3), 201-208.
- Jorgensen, U., & Winge, S. (1990). Injuries in badminton. *Sports Medicine*, 10(1), 59-64.
- Kim, C. H., Park, S. H., & Park, B. H. (2015). Literature study of sports injury-focusing on shoulder injury. *Journal of Korean Society of Health Sciences*, 12(1), 43-53.
- Kwon, T. & Kim, Y. (2020). Analysis of performance skill and game pattern of wheelchair badminton match according to the degree of spine damage. *The Korea Journal of Sports Science*, 29(3), 1031-1040.
- Lee, J. H., Kwon, T. Y., & Kim, Y. W. (2020). Biomechanical comparisons of upper body and upper extremity's movements according to skill level during badminton high-clear skill. *The Korea Journal of Sports Science*, 29(1), 793-802.
- Lee, J. S., Lee, H. S., Yim, C. S., Park, K. B., Cha, D. J., Kim, Y. J., & Park, S. B. (2005). *Kinematic analysis on the step & jump smash in badminton*. In Conference of Korean Journal of Sport Biomechanics, 157-163.
- Lee, S. U. (2014). Diagnosis and treatment of common shoulder pain. *Journal of the Korean Medical Association*, 57(8), 651-652.
- Lee, S. Y. (2014). *Kinematical analysis on drop-shot motion of the disabled wheelchair badminton* (Master's thesis). Kyungpook National University.
- Li, S., Zhang, Z., Wan, B., Wilde, B., & Shan, G. (2017). The relevance of body positioning and its training effect on badminton smash. *Journal of Sports Sciences*, 35(4), 310-316.
- Lyu, J. C., & Kim, I. S. (2003). Kinematic analysis of badminton smashing between the skilled and the unskilled. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 13(2), 139-160.
- Mohd Jamali, M. N. Z., Selvanayagam, V. S., Yusof, A. & A Hamid, M. S. (2022). Prevalence, patterns and factors associated with injury: Comparison between elite Malaysian able-bodied and para-badminton players. *The Physician and Sportsmedicine*, 50(4), 316-322.
- Pardiwala, D. N., Subbiah, K., Rao, N., & Modi, R. (2020). Badminton injuries in elite athletes: A review of epidemiology and biomechanics. *Indian Journal of Orthopaedics*, 54, 237-245.
- Petrinovic, L. (2014). *Adapted sport-badminton in perspective of different disabilities*. In 7th International Scientific Conference on Kinesiology, 50-53.
- Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2020). Injuries in badminton: A review. *Science and Sports*, 35(4), 189-199.
- Reeves, J., Hume, P. A., Gianotti, S., Wilson, B., & Ikeda, E. (2015). A retrospective review from 2006 to 2011 of lower extremity injuries in badminton in New Zealand. *Sports*, 3(2), 77-86.
- Sakurai, S., & Ohtsuki, T. (2000). Muscle activity and accuracy of performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice. *Journal of Sports Sciences*, 18(11), 901-914.
- Senadheera, V. V., Mayooraan, S., & Dissanayake, J. K. (2019). Elbow, wrist and hand tendinopathies in badminton players. *American Journal of Sports Science and Medicine*, 7(1), 16-19.
- Song, J. H., Kim, K. H., & Park, J. C. (2014). Research on the movement following a badminton stroke. *Journal of Digital Convergence*, 12(9), 465-474.
- 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.
- Tsai, C. L., Hsueh, Y. C., Pan, K. M., & Chang, S. S. (2008). *Biomechanical analysis of different badminton forehand overhead strokes of Taiwan elite female players*. In International Symposium on Biomechanics in Sports, 719-722.
- Yuksel, M. F. (2018). Effects of badminton on physical developments of males with physical disability. *Universal Journal of Educational Research*, 6(4), 701-709.
- Zheng, C. S., Shin, H. K., & Kim, Y. S. (2019). Study on the injury and rehabilitation of racket athletes with disabilities. *The Korean Society of Physical Therapy*, 31(4), 228-235.