야구 배팅 동작 시 대학 엘리트 야구 선수와 아마추어 야구 선수의 운동역학적 요인과 신체 근육들의 사전 수축 시간 비교 분석

A comparative analysis of biomechanical factors and PMT of body muscles between collegiate elite and amateur baseball player during the baseball batting

Young-Tae Lim, Moon-Seok Kwon

Division of Sports Science, College of Science and Technology, Konkuk University, Chungju, South Korea

Corresponding author
Moon-Seok Kwon
Division of Sports Science, Konkuk University, 268 Chungwon-Daero, Chungju-si, Chungchongbuk-do 27478, South Korea.
Phone: +82-43-840-3507, Fax: +82-43-840-3498, Email: rnjsanstjr@kku.ac.kr

Acknowledgements
위 논문은 문화체육관광부의 스포츠산업개발사업에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금을 지원받아 연구되었습니다
이 논문은 2015학년도 건국대학교의 연구년교원 지원에 의하여 연구되었음.

Abstract

Purpose: The aim of this study was to analyze biomechanical factors and PMT(premotor time) of body muscles between collegiate elite and amateur baseball players during the baseball batting.
Method: Kinematic and EMG data were achieved from 10 collegiate elite baseball players and 10 amateur baseball players who participated in this study. All motion capture data were collected at 200Hz using 8 VICON cameras and the premotor time of muscles were collected using a Delsys Trigno wireless system. The peak mean bat speed and the peak mean angular velocities of trunk, pelvis, and bat with PMTs of 16 body muscles were computed. These kinematic and PMT data of both group were compared by independent *t*-test ($p < .05$).
Results: The pelvis, trunk, and bat showed a sequence of angular velocity value during the baseball batting. PMT of right tibialis anterior, left gastrocnemius, external oblique, and erector spinae were significantly different between two groups.
Conclusion: It was concluded that PMT of body muscles were related to the shifting of body and rotating of pelvis, trunk segment and this action can be considered the coordinated muscle activities of lower and upper body.

Keywords: Biomechanical factors, PMT, EMG, Baseball batting, Angular velocity

Introduction

프로야구는 2014년 이후 매년 600만명 이상 관중을 기록하고 있으며, 2012년 6만여명이던 야구 동호인 수는 2014년 약 12만명으로 급격히 증가하여 현재 국내에서 가장 인기 있는 국내 구기 종목 중 하나로 자리잡았다(Park, 2012; Her, Choi, & Park, 2013; Kim et al., 2015). 야구 경기 시 배팅(batting)과 베이스 런닝(base running)은 타자들에게 요구되는 주요 득점 기술이다(Chun, 2012; Her et al., 2013). 배팅 동작 시 배트 속도와 임팩트의 정확성은 타자들의 타격 능력을 결정하는 요인들로서 타구의 방향과 거리에도 많은 영향을 준다(Chun, 2012). 즉, 타석에서 타자들은 투수가 던진 공의 궤적과 속도를 파악한 후 배트로 정확하게 타격시켜야 원하는 방향과 거리로 볼을 보낼 수 있다. 하지만, 타자들의 배팅 동작은 프로 투수에게서 투구되어 포수에게 도달되는 약 0.5 sec의 짧은 시간 안에 볼의 운동을 판단한 후, 타자의 리드발 지점에 도착하기 전 빠른 속도로 매트를 운동시켜 정확한 타격을 수행해야 하는 매우 어려운 기술이다(Lee & Kim, 2002; DeRenne, 2007; Her et al., 2013).

Han, Yoo, Chung과 Lee (1996)의 연구에서 프로야구 선수 그룹은 대학 야구 선수 그룹에 비해 정확한 타격 수행을 위하여 빠른 배트 속도와 투수에 의해 투구된 볼의 궤적과 속도를 판단하는데 상대적으로 더 많은 시간을 이용하는 것으로 나타났다. 또, Lee (2003)의 연구에서도 프로선수들의 배트 속도가 대학선수들 보다 더 빠르게 나타났으며, 배트 속도가 빠른 선수일수록 몸통 회전 운동 범위가 증가되는 것으로 보고하였다. 이렇듯, 야구 배팅 동작 중 임팩트 시점에서의 배트 속도는 상체와 하체 분절들 그리고 배트의 선 운동과 회전 운동의 협응적 운동에 의해 결정된다(Welch, Banks, Cook, & Draovitch, 1995). 이중 신체 근위분절에서 원위분절로 순차적으로 수행되는 회전 운동은 배팅 동작 시 배트의 속도를 보다 효율적으로 증가시킬 뿐만 아니라 임팩트 후 볼의 운동 거리를 결정하는 요인 중 하나인 배트의 운동량의 증가를 가져올 수 있다(Escamilla et al., 2009; Fleisig, Hsu, Fortenbaugh, Cordover, & Press, 2013).

이에 배팅 동작 수행 시 골반과 몸통, 상지 분절로 이어지는 순차적 회전 운동이 배트 속도에 미치는 영향을 규명하기 위한 운동역학적 연구들이 수행되어져 왔으며(Race, 1961; Welch et al., 1995), 몇몇 선행연구들은 배팅 동작 시 신체 운동에 기여하는 근육들의 수축 활동에 대한 근전도 분석을 통해 배팅의 운동역학적 특성을 규명하고자 하였다(Szymanski & DeRenne, 2010; Reyes, Dickin, Crusat, & Dolny, 2011). 배팅 동작 초기 앞쪽 다리를 들어 뒤쪽 다리로만 체중을 지지하는 테이크 백(take back) 동작에서 뒤쪽 하지 대퇴근육들의 수축 활동은 신체 무게 중심 유지에 중요한 역할을 하며 또한 데이크 백 후 배팅 동작을 수행하는데 있어서 배트 속도를 증가시키는 동력으로도 작용한다(Shaffer, Jobe, Pink, & Perry, 1993). Escamilla et al. (2009)은 테이크 백 동작에서 어깨의 회전 각도가 힙의 회전 각도 보다 큰 회전 각도를 나타낸 것으로 보고하였다. 이러한 타자들의 배팅 동작은 몸통 근육들을 신장성 수축을 통한 배팅 시 신체 회전 운동과 배트 운동량을 증가시키기 위한 신체 운동 메커니즘으로 보고하였다(Welch et al., 1995). 배팅 동작 시 신체 회전 운동을 통해 획득한 운동량을 배트로 전달하기 위해서는 들어올렸던 앞쪽 발을 지면에 디디면서 배트를 가속시키는 구간에서 테이크 백 동작으로 인해 신장되었던 몸통의 근육들을 동원하여 반시계 방향으로의 몸통 회전 운동을 빠르게 수행하여야 하다(Welch et al., 1995).

더불어 하지와 몸통 근육들의 순차적이고 협응적 수축 활동은 배트 운동 방향으로 수행되는 신체 선운동과 수직축을 중심으로 한 분절들의 회전 운동을 수행하는데 있어서 신체의 안정성 유지와 상지와 배트로 원활하게 파워를 전달하는 중요한 기능을 담당한다(Welch et al., 1995; Katsumata, 2007; Dabbs et al., 2010; Nakata, Miura, Yoshie, Kanosue, & Kudo, 2013). 이에 대하여 Shaffer et al. (1993)는 배팅의 숙련도가 높을수록 배팅 동작 시 하지 근육들의 수축이 빠르게 나타나는 것으로 보고하였다. 그리고 Szymanski와 DeRenne(2010)는 상지의 근육 동원 능력이 높을 타자일수록 배팅 시 볼의 비거리가 증가되는 것으로 보고하였다. 이와 같이 신체 근육들의 동원과 배팅 능력에 몇몇 연구들이 수행되어 왔으나 아직 배팅 동작 시 나타나는 복합적 신체 운동의 특성으로 인해 상체와 하체 근육들의 동원 순서와 시간에 대해서는 연구가 미흡한 수준이다.

그러므로 본 연구에서는 야구 배팅 동작에서 배트 속도에 영향을 주는 신체 분절의 회전 속도와 하지에서 상체 그리고 상지로 전이되는 운동량과 파워 전달과정에 기여하는 신체 근육들의 사전 수축 시간을 분석하여 대학 엘리트 야

구 선수들과 아마추어 동호인 선수들 간의 배팅 동작 차이를 분석하는데 목적이 있다.

Method

1. 연구 대상자

본 연구에는 최근 12개월 동안 신체 근골격계 병력이 없는 대학 엘리트 야구 타자 선수 10명(age = 22.2 ± 0.9 years, height = 179.9 ± 4.4 cm, mass = 82.1 ± 6.9 kg)과 선수 경력 3년 이상의 경험이 있는 아마추어 리그 참가 타자 10명(age = 26.2 ± 2.5 years, height = 173.4 ± 3.7 cm, mass = 75.7 ± 4.1 kg)은 실험의 목적에 대하여 충분히 설명하고 동의서를 작성한 후 실험에 참여하였다.

2. 실험 장비

본 연구에 이용된 실험 장비는 <Table 1>과 같이 야구 배팅 동작의 운동학적 데이터 분석을 위해 8대의 적외선 고속 카메라(MX-T10S, Vicon, UK; 200 Hz)를 이용하였으며, 3차원 데이터 처리는 Nexus 1.8(Vicon, UK)를 이용하였다. 신체 근육들의 수축 시점(PMT: premotor time) 데이터 수집을 위해 16채널 근전도(sampling frequency = 1000 Hz, Delsys Trigno wireless EMG system, gain = 1,000, input impedance > 10 Ω, CMRR > 100 dB) 장비를 이용하였다. 실험에 참여한 모든 피험자들은 티볼 배팅 보조기구를 이용하여 배팅 동작을 수행하였으며, 이때 피험자들에게 배팅 시작 신호의 전달은 LED(light emitting Diodes, Visol Co., Korea)를 이용한 시각적 신호(visual stimulation)를 제공하였다. 데이터 수집장비인 Giganet(Vicon, UK)에 LED와 연결된 신호 전달 장비 A/D box(VSAD-102-32C, Visol Co., Korea)와 근전도 그리고 2대의 지면반력기(OR6-7-1000, AMTI(USA)를 연결하여 3 v의 역치신호를 발생시켜 3차원 운동학적 자료와 지면반력 및 근전도 자료들의 동기화를 실시하였다<Table 1>.

Table 1. Experimental equipment

Equipment	Model	Country
Motion capture	MX-T10S	Vicon (UK)
Data acquisition	Giganet	Vicon (UK)
Analysis software	NEXUS 1.8	Vicon (UK)
	Polygon	
EMG equipment	Trigno Wireless	Delsys (USA),
Force plateform	OR6-7-1000	AMTI(USA)

3. 실험 절차

배팅 동작을 실시하기 전, 피험자들에게 연구의 목적을 전달한 후 검은색 spandex 재질의 반바지를 착용시켰다. 그리고 10분 간 스트레칭 및 배팅 연습을 실시하면서 배트의 스윙궤도를 관찰하였고 이를 통해 피험자들과 의견 조율을 통해 직선 타구가 가능한 높이로 티 볼을 조절하였다(Welch et al., 1995). 인체 계측용 측정기(SM-324)를 사용하여 실험에 참여한 피험자들을 대상으로 Zatsiosky, Selnyanov와 Chugunova(1990)의 scaling method적용에 필요한 신체 분절 길이와 둘레를 측정하였다. 그리고 야구 배팅 동작 분석 시 3차원 데이터 수집을 위해 구형반사마커(15 mm)를 신체(right/left toe on the shoes, calcaneus, lateral malleolus, medial malleolus, lateral tibia(half way between ankle & knee), lateral epicondyle, medial epicondyle, lateral thigh(half way between knee & hip),

greater trochanter, anterior superior iliac spine, middle of posterior superior iliac spine, 3th metacarpal head, lateral aspect of head of ulnar, lateral aspect of head of radius, humeral lateral epicondyle, humeral medial epicondyle, lateral acromion, upper ridge of ear, the middle of the forehead[glabell]와 7th cervical vertebral, 12th thoracic vertebrae)와 배트(bat grip, tip of bat)에 부착시켰다. 야구 배팅 실험 전 4개 반사마커가 있는 T자 모양의 완드(wand)를 이용하여 공간상에서 움직이며 촬영한 후 카메라들의 3차원 좌표치를 생성하고 NLT (nonlinear transformation)방식을 이용하여 볼과 배트의 운동 방향 Y축, 수직 방향 Z축, 인체 운동의 전후 방향 X축으로 정의되는 전역좌표계를 설정하였다. 인체와 배트에 부착한 반사마커를 이용하여 야구 배팅 동작 시 분절의 운동을 계산하기 위하여 지역좌표계를 정의하였다<Figure 1>. 야구 배팅 동작 시 신체는 머리, 몸통, 골반, 대퇴, 하퇴, 상완, 전완, 손과 배트로 이어지는 연쇄계 분절로 정의하였다. 그리고 야구 배팅 동작 시 오른쪽과 왼쪽 대퇴직근(Rectus femoris), 전경골근(Tibialis anterior), 대퇴이두근(Biceps femoris), 비복근(Gastrocnemius), 대흉근(Pectoralis major), 외복사근(External oblique muscle of abdomen), 광배근(Latissimus dorsi), 척추기립근(Erector spinae) 의 PMT 측정을 위해 Delsys Trigno wireless EMG 장비를 이용하였다. <Figure 2>와 같이16개 근육들의 근전도 부착 위치에 피부 외피층 털을 제거하고 알코올로 피부 표면을 닦아낸 후 전극을 부착한 후 배팅 동작 전 직립자세에서 약 2초간 피험자들의 EMG 자료를 측정하였다. 그리고 피험자들은 LED 로 전달되는 불빛을 시작 신호로 인지하고 배팅 동작을 준비한 후 LED 신호와 동시에 배팅 동작을 실시하였으며 모든 피험자들은 연구 목적에 적합한 배팅 동작 3회를 데이터가 수집될 때까지 배팅 운동을 실시하였다.

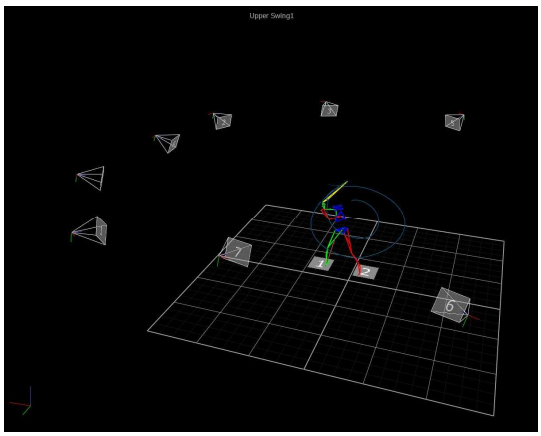

Figure 1. Experimental diagram

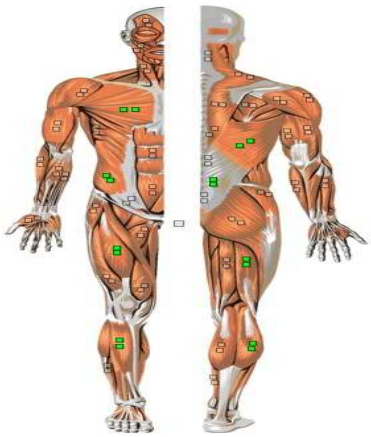

Figure 2. EMG electrode pleacement

4. 자료 분석

피험자들의 배팅 동작 시 신체와 배트에 부착된 반사 마크의 3차원 좌표 데이터는 저역필터(butterworth low-pass 2차)를 통해 필터링(Winter, 1990)하였으며, 이때 cutoff-frequency는 6 Hz로 설정하였다. 피험자들의 야구 배팅 시 전체 구간에서 나타나는 최대 배트 속도와 수직축 상에서 발생하는 최대 골반, 몸통, 배트의 회전 각속도는 근위 분절 좌표계에 대한 원위 분절 좌표계의 상대 지향각을 시간으로 미분하여 계산하는 Cardan orientation 방법으로 산출하였다.

배팅 동작 시 1000Hz로 수집된 근전도 자료는 자료 분석 시스템(PCI-6221; National Instruments, Austin, TX, USA)을 이용하여 band pass-filter(10-500 Hz)로 필터링하였으며 rectified 과정을 거친 후 low pass-filtered (butterworth zero-phase 4th order filter)의 정류과정을 통해 선형화하였고, Matlab Program(v 8.4)을 이용하여 야구 배팅 시 각 근육들의 PMT(premotor time) 시간을 산출하였다. 배팅 동작 시 16개 근육들의 PMT 시점을 산출하기 위하여 <Figure 3>에서 보는 바와 같이 야구 배팅 동작 전 준비 자세에서 1초간 자료를 수집한 신호의 평균값에 3×표준편차(mean + 3SD)를 계산하여 기준선(base line)을 설정하고, 배팅 동작 시 측정된 근전도 자료에서 기준선 이상이 되는 첫 지점을 근육의 PMT로 정의하여 산출하였다(Hodges & Bui, 1996; Allison, 2003).

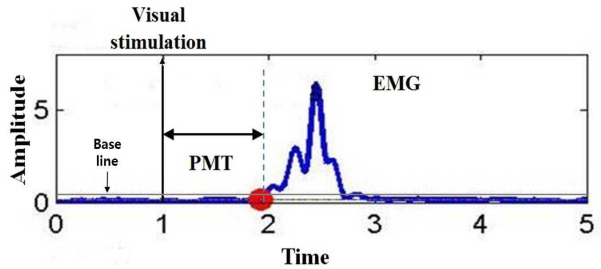

Figure 3. Definition of PMT of muscles during baseball batting

야구 배팅 동작은 <Figure 4>에서 보는 바와 같이 카메라 및 2대의 AMTI 지면반력기에서 신체 무게 측정 가능한 10 N의 기준치를 이용하여 이벤트를 정의하였다. 5개의 특정 순간(critical instants)은 ① 준비자세: Ready, ② 리드발의 지면반력이 최소이거나 값이 10N 이하 시점: Foot off, ③ 리드발이 지면에 닿아 10N 이상 시점: Foot on , ④ 배트에 공이 맞는 시점: Impact, ⑤ 배팅이 끝나는 시점: Finish로 정의하였다. 이들 5개의 이벤트를 이용하여 4개의 구간(phase)으로 정의하였다.

Ready Foot Off Foot On Impact Finish

Phase 1 Ready-Foot Off | Phase 2 Foot Off-Foot On | Phase 3 Foot On-Impact | Phase 4 Impact-Finish

Figure 4. Definition of main events and phases of the baseball batting performance

5. 통계 처리

야구 배팅 동작 시 최대 배트 속도, 골반, 몸통, 배트의 회전 각속도, 그리고 하지와 상체 16개 근육들의 PMT 자료들은 SPSS 18.0(SPSS Inc., Chicago, USA) 통계프로그램을 이용하여 그룹(대학 엘리트 야구선수, 아마추어 야구선수) 간 Independent-samples t-test 를 실시하였다(α = .05).

Results

본 연구에 참여한 대학 엘리트 야구선수들과 아마추어 야구 선수들을 대상으로 티 볼을 이용한 배팅 동작을 분석한 결과는 다음과 같다. <Table 2>와 같이 대학 야구 선수와 아마추어 야구 선수 그룹 간의 배팅 동작을 분석한 결과, 최대 평균 배트의 속도(t=5.66, p<.05)와 최대 평균 골반각속도(t=2.82, p<.05), 최대 평균 몸통각속도(t=2.60, p<.05), 최대 평균 배트각속도(t=4.20, p<.05)에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 그리고 대학 엘리트 야구선수 그룹을 기준으로 아마추어 야구선수 그룹의 최대 평균 배트의 속도(t=-27.19, p<.05)와 최대 평균 골반각속도(t=-14.26, p<.05), 최대 평균 몸통각속도(t=-16.39, p<.05), 최대 평균 배트각속도(t=-20.94, p<.05)에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다.

Table 2. Kinematic variable of trunk and pelvis and bat between elite group and amateur group

Section	Between elite group and amateur group				Normalized by elite batting %			
	Elite	Amateur	t	p	Elite	Amateur	t	p
	Mean (±SD)	Mean (±SD)			Mean (±SD)	Mean (±SD)		
Peak bat velocity (km/h)	109.90 (10.6)	90.50 (2.3)	5.66	.000*	1	83.14 (9.55)	-27.19	.000*

Peak pelvis angular velocity (deg/s)	567.55 (93.73)	479.32 (1.18)	2.82	.011*	1	87.21 (19.12)	-14.26	.000*
Peak trunk angular velocity (deg/s)	810.06 (118.06)	704.04 (9.02)	2.60	.018*	1	89.01 (16.98)	-16.39	.000*
Peak bat angular velocity (deg/s)	1969.88 (190.54)	1638.47 (160.83)	4.20	.001*	1	83.99 (12.53)	-20.94	.000*

Note: * $p < .05$

야구 배팅 동작 시 근육들의 수축 시간을 의미하는 PMT를 하지와 상체 16개 근육들을 대상으로 분석한 결과는 <Table 3>과 같다. 대퇴직근의 경우 오른쪽 대퇴직근(t=-1.57, p>.05)과 왼쪽 대퇴직근(t=0.40, p<.05)의 PMT는 두 그룹 간에 통계적으로 차이가 없었다. 전경골근 PMT의 경우 오른쪽 전경골근(t=-4.31, p<.05)에서는 두 그룹 간 통계적으로 유의한 차이가 있었으나 왼쪽 전경골근(t=1.44, p>.05)에서는 통계적으로 차이가 나타나지 않았다. 오른쪽 대퇴이두근(t=1.93, p>.05)과 왼쪽 대퇴이두근(t=-0.93, p<.05)의 PMT는 두 그룹 간에 통계적으로 차이가 없었다. 비복근 PMT의 경우 두 그룹 간 오른쪽 비복근(t=-1.15, p<.05)에서는 통계적으로 차이가 없었으나 왼쪽 비복근(t=-2.46, p>.05)에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 오른쪽 대흉근(t=-0.19, p>.05)과 왼쪽 대흉근(t=0.96, p<.05)의 PMT는 두 그룹 간에 통계적으로 차이가 없었다. 외복사근 PMT의 경우 두 그룹 간 오른쪽 외복사근(t=-0.49, p<.05)에서는 통계적으로 차이가 없었으나 왼쪽 외복사근(t=-2.84, p>.05)에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 오른쪽 광배근(t=-0.96, p>.05)과 왼쪽 광배근(t=-1.56, p<.05)의 PMT는 두 그룹 간에 통계적으로 차이가 없었다. 척추기립근 PMT의 경우 두 그룹 간 오른쪽 척추기립근(t=-1.99, p<.05)에서는 통계적으로 차이가 없었으나 왼쪽 척추기립근(t=2.75, p>.05)에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

Table 3. PMT of 16 muscles on the body between elite group and amateur group

Body Muscles	Elite	Amateur	t	*p*
	Mean±SD	Mean±SD		
Right rectus abdominis	0.38±0.24	0.52±0.17	-1.57	.134
Left rectus abdominis	0.44±0.14	0.36±0.61	0.40	.693
Right tibialis anterior	0.28±0.17	0.59±0.15	-4.31	.000*
Left tibialis anterior	0.37±0.15	0.26±0.19	1.44	.168
Right Quadriceps of thigh	0.45±0.23	0.27±0.19	1.93	.069
Left Quadriceps of thigh	0.48±0.23	0.59±0.27	-0.93	.363
Right Gastrocnemius	0.39±0.29	0.50±0.06	-1.15	.264
Left Gastrocnemius	0.38±0.14	0.55±0.17	-2.46	.024*
Right pectoralis major	0.56±0.46	0.59±0.26	-0.19	.852
Left pectoralis major	0.60±0.38	0.40±0.57	0.96	.351
Right External oblique of abdomen	0.58±0.25	0.62±.14	-0.49	.630
Left External oblique of abdomen	0.18±0.46	0.65±0.27	-2.84	.011*
Right latissimus dorsi	0.57±0.22	0.65±0.16	-0.96	.348
Left latissimus dorsi	0.41±0.28	0.59±0.22	-1.56	.135
Right Erector spinae	0.31±0.25	0.54±0.26	-1.99	.062
Left Erector spinae	0.56±0.20	0.24±0.30	2.75	.013*

Discussion

야구 배팅 시 투수에 의해 던져진 볼을 정확한 타이밍에 타격하기 위해서는 볼의 속도에 대응할 수 있는 빠른 속도의 배트 운동이 요구되며, 이는 신체 분절들의 회전 운동 및 신체 근육들의 동원 시간과 관련성이 높은 것으로 보고되고 있다(Shaffer et al., 1993; Reyes et al., 2011). 야구 배팅 기술은 숙련도에 따라 투구된 볼의 운동을 판단하는 능력과 임팩트 지점에서의 발생하는 최대 배트 속도에 차이가 있으며, 이러한 요인들은 타격 기술을 판단하는 지표로 보고되고 있다(Han et al., 1996). 야구 배팅 속도에 관한 연구 중, Lee (2003)는 한국 프로야구 선수들을 대상으로 최대 배트 속도를 측정한 결과 약 122 km/h의 수치를 보인 것으로 보고하였다. 본 연구에서 배팅 기술 숙련도에 차이가 있는 대학 야구 선수 그룹과 아마추어 야구 선수 그룹을 대상으로 최대 평균 배트 속도를 측정한 결과, 대학 선수 그룹에서는 약 110 km/h, 아마추어 선수 그룹에서는 91 km/h로 나타나 두 그룹간에 약 19 km/h 의 배트 속도 차이를 나타내었다. Escamilla et al. (2009)은 성인 타자 그룹(108 km/h)과 청소년 타자 그룹(90 km/h)의 배트 속도에 차이가 있음을 보고하였고, Sgroi et al. (2015)의 연구에서 11세부터 19까지 420명의 투수들의 투구 속도가 연령과 신장에 의해 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 배팅 동작 시 타자의 배트 속도는 개인의 신체적 조건과 투수의 투구 속도에 증가에 맞추어 반복적으로 훈련하는 숙련도에 의해 다르게 나타날 수 있을 것으로 판단된다.

야구 배팅 동작의 시작부터 배트와 볼의 임팩트 순간까지 수행되는 신체 운동은 최대 배트 속도의 수치와 임팩트의 정확성에 많은 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Kang, 2005; Chun, 2012). Welch et al. (1995)은 배팅 동작 수행 시 배트의 속도를 증가시키기 위해서는 골반과 몸통 분절의 회전 운동이 배트의 회전 방향과 일치해야 한다고 보고하였다. 또한 배팅 동작 시 볼을 타격하기 위한 준비하는 테이크 백 동작에서는 골반과 몸통 분절을 수직축 상에서 반시계 방향으로 회전시키고 임팩트를 위해 배트를 스윙하는 구간에서는 시계방향으로 회전 운동을 수행하여야 한다(Race, 1961; Escamilla et al., 2009). 신체 근위 분절인 골반과 몸통 분절에서부터 원위 분절인 상지와 배트로 이어지는 회전 운동은 연속적으로 발생되어야 하며 배트의 최대 속도의 증가는 큰 분절에서 작은 분절로 이어지는 연차적인 회전 운동의 수행을 통해 발휘될 수 있다(Hay, 1993). 이에 대하여 Welch et al. (1995)는 야구 배팅 동작 시 근위 분절인 몸통과 배트의 회전 각속도를 측정한 결과 몸통 분절의 최대 각속도는 약 714 deg/s, 배트의 최대 각속도는 약 1588 deg/s였으며 최대 각속도 발생시점에서 몸통의 최대 각속도 수치 발생 후 배트의 최대 각속도를 보여 근위분절에서 배트로 이어지는 순차적인 최대 각속도 결과를 나타났음을 보고하였다. 본 연구에서 대학 야구선수 그룹의 최대 평균 골반 각속도는 약 568 deg/s, 최대 평균 몸통 각속도 약 810 deg/s, 최대 평균 배트 각속도 약 1970 deg/s로 나타났고, 아마추어 야구 선수 그룹은 최대 평균 골반 각속도 약 479 deg/s, 최대 평균 몸통 각속도 약 704 deg/s, 최대 평균 배트 각속도 약 1638 deg/s를 나타내어 두 그룹 모두 선행연구들에서 제시된 결과와 같이 근위 분절에서 원위 분절로 순의 순차적인 최대 분절 회전 각속도 수치를 나타내었다. 그리고 배팅 동작 시 골반, 몸통, 배트의 각속도에서 대학 야구 선수 그룹이 아마추어 선수 그룹에 보다 더 빠른 속도를 나타냈는데, 이는 임팩트 지점에서 발생한 최대 배트 속도의 결과와 비교해 볼 때 골반과 몸통 분절 각속도의 증가가 임팩트 시 배트의 속도를 증가시키는 중요한 요인으로 판단된다.

야구 배팅 동작 시 오른손잡이 타자는 리드발을 목표 방향으로 운동시키면서 골반과 몸통 분절들을 수직축을 중심으로 반시계 반대방향으로 빠르게 회전시키면서 배트의 운동을 수행하면서 임팩트 동작을 수행한다. 이때 신체 분절의 회전 운동 속도는 상체와 하체 근육들의 수축 활동에 의해 다르게 나타난다(Shaffer et al., 1993; Reyes et al., 2011). 야구 배팅 동작 시 스윙 초기 큰 분절에서 서서히 시작된 회전 운동은 배트가 볼을 타격하는 임팩트 지점으로 운동하면서 작은 분절의 빠른 회전으로 이어지며 이러한 신체 분절들의 순차적인 회전 속도의 발생으로 인해 배트의 운동량과 속도는 많은 영향을 받게 된다(Escamilla et al., 2009; Welch et al., 1995). 그러므로 배팅 동작 시 신체 회전 운동을 통한 배트의 운동량과 속도의 증가는 하체와 상체 근육의 협응적 수축에 의해 발휘되며 이러한 근육들의 수축 활동은 각 분절의 순차적인 회전 운동에도 영향을 미치게 된다. 본 연구에서 야구 배팅 동작 시 하체 근육들의 PMT 시점을 분석한 결과, 대학 야구 선수 그룹이 오른쪽 대퇴직근, 오른쪽 전경골근, 왼쪽 대퇴이두근, 오른쪽과 왼쪽 비복근에서 아마추어 야구 선수 그룹에 비해 빠르게 나타났다. 그리고 상체 근육들에서 대학 선수 그룹이

오른쪽과 왼쪽 외복사근 및 광배근, 오른쪽 척추기립근에서 아마추어 야구 선수 그룹에 비해 상대적으로 빠른 PMT 시점을 나타내었다. Lee (2003)은 야구 선수들의 타격 동작을 분석한 결과 준비 자세에서 리드발을 뒤로 움직이는 구간에서 체중의 약 95%를 뒤쪽 발로 이동시킨 후 임팩트를 위해 체중을 리드발로 빠르게 이동시키면서 몸통의 회전 운동을 수행하는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 선행연구에서의 야구 선수들의 준비자세를 분석한 결과와 같이, Ready에서 Foot-off까지 Phase1 구간에서 신체 중심을 뒤쪽발로 이동시키는 테이크 백 동작 시 대학 야구 선수 그룹은 체중 이동에 이용되는 오른쪽 전경골근, 왼쪽 비복근, 왼쪽 외복사근의 PMT가 아마추어 야구 선수 그룹에 비해 빠른 시점에 나타났다〈Table 3〉. 그리고 대학 야구 선수 그룹의 경우 아마추어 선수 그룹에 비해 오른쪽 대퇴직근, 전경골근, 비복근, 대흉근, 외복사근, 광배근, 척추기립근에서 빠른 PMT를 나타내었다. 이는 테이크 백 동작에서 오른발 쪽으로 체중이 이동되면서 신체 중심을 유지하기 위하여 보다 빨리 근육들을 동원한 결과로 해석되며 상체 근육들의 경우 수직축을 중심으로 원활한 몸통의 반시계 방향으로의 회전 운동을 수행하기 위해 아마추어 그룹에 비해 대흉근, 외복사근, 광배근, 척추기립근의 수축이 빠르게 나타난 것으로 해석된다. 그리고 리드발인 왼쪽 하지 근육들의 경우 대퇴사두근과 비복근에서 빠른 PMT 수치가 대학 야구 선수 그룹에서 나타났고 상체에서는 왼쪽 외복사근, 광배근에서 빠르게 나타났다. 대학 야구 선수 그룹에서 몸통 근육인 왼쪽 외복사근, 광배근은 오른쪽에 근육들에 PMT 수치에 비해서도 빠른 수치를 나타내고 있으며 이는 몸통의 회전 운동 범위를 증가시켜 최대 배트 속도를 발휘하기 위한 결과로 해석된다(Welch, et al., 1995). 그러므로 안정된 배팅 동작을 위해서는 하지 근육들의 수축을 통한 균형 유지와 신체 이동이 매우 중요하다(Chun, 2012). 더불어 야구 배팅 기술 수준의 차이에 의해 신체 체중이동과 회전운동 그리고 신체 안정성 유지 능력에 차이를 보이며 이는 야구 배팅에 이용되는 신체 근육들의 수축 시간에 차이와 관련성이 높을 것으로 판단된다(Reyes et al., 2011, Szymanski & DeRenne, 2010).

Conclusion

본 연구에서는 대학 야구 선수들과 아마추어 야구 선수들을 대상으로 배팅 동작 배트 속도와 신체 분절의 회전 속도 그리고 하체와 상체의 근육 PMT를 분석하여 비교하는데 목적이 있다. 두 그룹 모두 배팅 동작 시 골반, 몸통, 배트 순서로 최대 각속도를 나타내었고 아마추어 야구 선수 그룹은 대학 야구 선수 그룹에 비해 골반, 몸통, 배트 회전 각속도와 배트 속도에서 유의하게 낮은 수치를 나타내었다. 그리고 오른쪽 전경골근, 왼쪽 비복근, 왼쪽 외복사근에서는 선수 그룹이 아마추어 그룹에 비해 빠른 PMT를 나타낸 반면 왼쪽 척추기립근에서는 아마추어 그룹이 선수 그룹에 비해 빠른 PMT를 나타내었다. 배팅 동작 시 신체 체중 이동과 회전 운동의 순서는 하지와 상체의 근수축에 의해 많은 영향을 받으므로 아마추어 야구선수들은 체중이동에 관여하는 근수축 동원을 빠르게 하고 이와 동시에 신체 근위 분절인 골반과 몸통의 회전 속도를 상승시킴으로써 야구선수 그룹과 같은 배팅 기술을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

References

Allison, G. T. (2003). Trunk muscle onset detection technique for EMG signals with ECG artefact. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(3), 209-216.

Chun, Y. J. (2012). The analysis on the changes in beginners batting movements through undergraduate baseball lectures. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 22(3), 277-284.

Dabbs, N. C., Brown, L. E., Coburn, J. W., Lynn, S. K., Biagini, M. S., & Tran, T. T. (2010). Effect of whole-body vibration warm-up on bat speed in women softball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2296-2299.

DeRenne, C. (2007). *The scientific approach to hitting: research explores the most difficult skill in sport*. San Diego, CA: University Readers, 254-255.

Escamilla, R. F., Fleising, G. S., DeRenne, C., Taylor, M. K., Moorman, C. T., & Andrews, J. R. (2009). A comparison of age on baseball hitting kinematics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25(3), 201-218.

Fleisig, G. S., Hsu, W. K., Fortenbaugh, D., Cordover, A., & Press, J. M. (2013) Trunk axial rotation in baseball pitching and batting. *Sport Biomechanics*, 12(4), 324-33.

Han, T. R., Yoo, M. J., Chung, S. G., & Lee, S. G. (1996). Three dimensional batting motion analysis of korean professional and college baseball players. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 14(1), 22-30.

Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sport*. 4th ed. Englewood Cliffs(NJ): Prentice-Hall.

Her, M. H., Choi, K. J., & Park, J. C.(2013). Kinematic analysis of professional baseball players batting motion. *Korean Journal of Sport Science*, 24(2), 213-222.

Hodges, P. W., & Bui, B. H. (1996). A comparison of computer based-methods for the determination of onset of muscle contraction using electromyography. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 101(6), 511-519.

Kang, S. H. (2005). Comparative analysis of pull batting and push batting motions in baseball. *Korea Sports Research*, 16(2), 165-174.

Katsumata, H. (2007). A functional modulation for timing a movement: A coordinative structure in baseball hitting. *Human Movement Science,* 26(1), 27-47.

Kim, M. S., Kim, J. Y., Seo, J. W., & Lee, G. H. (2015). *2014 Sport white paper*. Seoul : Korea Institute of Sport Science.

Lee, Y. J., & Kim, J. T. (2002). The kinematic analysis of the pitching motion for the straight and curve ball. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 12(2), 109-130.

Lee, Y. S. (2003). The study of batting characteristics in elite baseball players. *Korean Journal of Sport Biomechanics,* 13(1), 173-184.

Nakata, H., Miura, A., Yoshie, M., Kanosue, K., & Kudo, K. (2013). Electromyographic analysis of lower limbs during baseball batting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5). 1179-1187.

Park, K. N.(2012). Sociological factors, the population of adults with a baseball player background study on the relationship between consumer behavior. *Korean Journal of Sports Science*, 21(3). 251-262.

Race, D. E. (1961). A cinematographic and mechanical analysis of the external movements involved in hitting a baseball effectively. *Research Quarterly*, 32(3), 394-404.

Reyes, G. F., Dickin, D. C., Crusat, N. J., & Dolny, D. G. (2011). Whole-body vibration effects on the muscle activity of upper and lower body muscles during the baseball swing in recreational baseball hitters. *Sports Biomechanics*, 10(4), 280-293.

Sgroi, T., Chalmers, P. N., Riff, A. J., Lesniak, M., Sayegh, E. T., Wimmer, M. A., Verma, N. N., Cole, B. J., & Romeo, A. A. (2015). Predictors of throwing velocity in youth and adolescent pitchers. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 24(9), 1339-1345.

Shaffer, B., Jobe, F. W., Pink, M., & Perry, J. (1993). Baseball batting: An electromyographic study. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 292, 285-293.

Szymanski D. J., & DeRenne, C. (2010). The effects of small muscle training on baseball hitting performance: a brief review. *Strength and Conditioning Journal*, 32(6), 99-107.

Welch, C. M., Banks, S. A., Cook, F. F., & Draovitch, P. (1995). Hitting a baseball: A biomechanical description. The *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 22(5), 193-201.

Winter, D. A. (1990). *Biomechanics and motor control of human movement. 2nd Edition.* New York: John Wiley & Sons. Inc.

Zatsiosky, V. M., Selnyanov, V. N., & Chugunova, L. (1990). In vivo body segment inertial parameters determination using a gammar scanner method. In N. Berme & A. Cappozzo (Eds.), *Biomechanics of Human Movement; Applications in rehabilitation, Sports and ergonomics,* 187-202. Worthington, OH: Bertec corporation.