The Journal of Korean Orthopedic Manipulative Physical Therapy
2023;29(2):39-48. www.kaomt.or.kr

ISSN 1226-3680 (Print)
ISSN 2508-7282 (Online)

Original Article

중, 고등학교 투수의 투구 시 상지의 근활성도 비교분석

박찬희

연세대학교 물리치료학과 시간강사

Comparative Analysis of Upper Extremities Muscle Activity during Baseball Pitching in Middle and High School Baseball Players

Chan-hee Park

Dept. of Physical Therapy, Yonsei University

ABSTRACT

Background: The position of pitcher requires a lot of repetitive motion, and because of this, it is known that not only professional baseball players, but also middle and high school players are frequently exposed to injuries in baseball. The purpose of this study is to examine the differences in upper extremity muscle activity during repeated pitching and the activity of each muscle during repeated pitching by analyzing middle and high school pitchers, divided into groups by age.

Methods: Twenty participants (10 middle school male students and 10 high school male students) were recruited for this research. The outcome measures included neuromuscular motor control, including the upper trapezius (UT), triceps brachii (TB), deltoid (DT), latissimus dorsi (LD), biceps brachii (BB), pectoralis major(PM), extensor carpi radialis(ER), and flexor carpi radialis (FR).

Results: The two-way analysis of varaince (ANOVA) was used to compare the muscle activity variables between the middle school and high school students. The one-way ANOVA was used to compare the muscle activity variables within time differences each groups.

Conclusion: Our results provided promising clinical evidence that guide for upper extremity muscles to increase pitching efficiency in middle and high school base ball players.

Key Words:

Pitching, Biomechanics, Electromyography, Muscle Activity, Upper Extremity

교신저자: 박찬희
주소: 26493 강원도 원주시 흥업면 연세대길 1, E-mail: chaneesm@gmail.com

I. 서 론

야구에서 투수는 반복적인 동작이 많이 요구되는 포지션이며, 이러한 특성 때문에 프로 야구 선수들뿐만 아니라 유소년 선수들은 부상에 쉽게 노출된 것으로 알려져 있다(Fortenbaugh 등, 2009). 투구가 주로 상지의 움직임으로 발생하기 때문에, 팔꿈치, 어깨와 같은 상지 부상이 나이와 관계없이 흔하게 발생하고 있으며, 부상률도 꾸준히 증가하고 있는 것으로 나타났다(Camp 등, 2018; Posner 등, 2011; Shanley 등, 2011).

투수가 빠른 공을 던지기 위해서는 강한 상지의 근력과 투구 시 단시간 내에 최대 근력을 발휘할 수 있는 파워가 요구되어진다(Posner 등, 2011; Shanley 등, 2011). 또한, 투구 동작 시 속도 증가를 위해서는 상지 각 분절의 협응 동작이 필요하며, 상지 근육의 강력한 힘이 요구되면서 각 신체 분절이 조화를 이룰 수 있도록 적절한 리듬과 타이밍이 이루어져야 한다(Sabick 등, 2005). 하지만, 과도한 투구 수는 많은 부상을 유발한다.

Park 등(2008)의 연구에 따르면 고등학생 투수의 투구수 증가에 따른 표면근전도(electromyography; EMG) 변화를 살펴본 결과 투구 수가 증가할수록 근 활성도가 유의하게 감소하는 것으로 보고하고 있으며, 이는 혈중 근손상 지표와 근피로 물질에서도 유의한 감소를 나타내는 것으로 보고하고 있다. Harryman 등(1990)의 연구에 의하면 성인 프로야구 투수들이 과도한 투구 후에는 어깨삼각근 (anterior delotid; DT)의 활성화가 감소되는 반면 회전근개 근육들의 최대한 활성화되게 된다.

또한 이 단계의 마지막 부분에서는 넓은등근(latissimus dorsi; LD) 활성화가 시작됨과 동시에 몸통이 상향으로 열리면서 전방으로 회전되기 시작한다. 이때 위팔두갈래근(biceps brachii; BB)과 큰가슴근(pectoralis major; PM)이 활성화 되었다.

야구선수들을 대상으로 EMG 측정을 통한 근 활성도 분석 연구가 존재하지만, 반복 투구에 따른 연구 및 유소년 선수들을 대상으로 이루어진 연구는 미흡한 실정이다. 앞서 언급하였듯이, 유소년 선수들의 과사용 및 반복 투구가 가장 큰 부상 요인이므로 실제 반복 투구 시 나타나는 근육 활성화 패턴을 분석하는 것은 충분한 의미가 있을 것으로 생각된다.

또한 유소년 선수들은 성장기에 있으므로 그 시기에 따라 성장 차이가 크기 때문에 유소년 선수들이라도 나이에 따라서 나누어 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다(Bullock 등, 2021). 성장하는 학생들에게 근활성도의 분석을 통하여, 적절한 투구 수를 제안하여 선수 생명의 연장을 이끌어야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구의 목적은 야구선수 중 투수들을 대상으로 중학생과 고등학생으로 구분하여 반복 투구에 따른 상지 근육의 표면근전도의 차이와 반복 투구에 따른 생체역학의 정량적 분석을 위하여 각 근육의 활성도를 살펴보는 것이다. 본 연구의 가설은 반복 투구에 따른 상지 근육의 활성도가 중학생과 고등학생 간의 차이가 나타날 것이며, 또한 반복 투구가 진행될수록 활성화된 근육의 차이가 나타날 것이다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구대상자

연구대상자들은 부산, 경남 지역의 중, 고등학생 야구선수(15~18세) 중 투수 경력이 중학생은 5년 이상, 고등학생은 7년 이상인 자들로 선정하였으며, 그룹별 10명씩 선정하였다.

20개 이상의 투구에도 통증이 없는 자를 대상으로 모집하였으며, 2년 이내 팔꿉관절 및 어깨관절의 수술 병력이 있는 자, 그리고 통증으로 인해 2년 이내 야구를 휴식한 자는 제외하였다. 실험에 참여하는 모든 선수에게 본 실험의 목적을 설명하였으며, 부모로부터 모두 동의를 받았다. 또한 실험 전 정형외과 전문의의 진료를 받았으며, 본 실험을 수행하기에 문제가 없는 선수들을 최종적으로 연구대상으로 선정하였다.

파일럿 연구를 기반으로 최소 샘플 크기 요구 사항을 계산하기 위해 표본크기 결정 프로그램(G-power software 3.1.9.4, University of Kiel, Germany)를 사용한 전력 분석을 수행했다.

2. 실험 도구 및 측정 방법

1) 실험환경, 근육선정 부위 및 EMG 측정 방법

본 실험은 한국야구위원회(KBO) 규정에 따른 간이 마운드를 만들었으며 마운드 높이는 25.4㎝로 하였고, 투구거리는 마운드에서 포수 사이 거리로서 18.44m로 설정하였다(Figure 1). 무선 표면 근전도 측정기(Tele-Myo DTS EMG, Noraxon Inc, USA) 및 표면 근전도 데이터 분석 프로그램(MyoResearch 3.16 software, Noraxon Inc., USA)를 사용하여, 작용근의 활성도를 알아보기 위해 작용근에 부착될 표면 전극은 지름 1㎝, 전극 간의 간

ISSN 1226-3680 (Print)
ISSN 2508-7282 (Online)

격이 2㎝인 일회용 이극표면전극(disposable bipolar surface electrode)을 사용하였으며, 접지전극은 지름이 1㎝인 일회용 일극표면전극(disposable unipolar surface electrode)을 사용하였다. 전극은 1㎝의 은/염화은(Ag/AgCl) 전극을 사용하였으며, 작용근의 근육에 부착될 표면 전극은 부착지점의 피부 표면을 알코올로 닦은 후 면도기를 통해 피부에 있는 털을 모두 제거한 후 표면전극을 부착하였다(Cram, 2004).

EMG 측정을 위한 근육선정은 우세측 상지 8군데 근육을 선정하였으며, 투구 동작에서 주로 사용되는 상지 8군데의 근육은 위등세모근(upper trapezius; UT), 위팔세갈래근(triceps brachii; TB), DT, LD, BB, PM, 노쪽손목폄근(extensor carpi radialis; ER), 노쪽손목굽힘근(flexor carpi radialis; FR)으로 선정하였다(Sisto 등, 1987; Escamilla와 Andrew, 2009). EMG 실험 전 상대적 근수축 자료를 얻기 위해 우세측 상지 8군데의 최대 등척성 근수축(maximum voluntary contraction; MVC 측정을 하였다. 해당 모든 근육은 3초간의 등척성 수축을 통해 자료를 수집하였다.

Figure 1. Pitching setup for motion analysis

2) 피칭에 따른 EMG 자료 수집 및 구간 및 자료 처리

전극의 부착과 MVC 측정 절차가 끝난 대상자는 10~15회의 투구 연습을 한 후, 분석을 위해 한 이닝 당 15개의 공을 던지게 하였으며 총 7이닝(105개)을 던지게 하였다. 1이닝(15개)과 4이닝(60개), 7이닝(105개) 중 마지막 투구의 자료를 수집하였으며, 각 이닝 간 휴식 시간은 10분으로 하였다. EMG 자료 처리는 근전도 신호의 미가공 데이터 평균값을 구해 영점초기화 과정을 거친 후 20~500Hz로 대역필터 처리하였다. 증폭된 아날로그 근전도 신호는 AD 컨버터에 의해 1000Hz로 샘플링으로 설정하였다(De Luca, 1997). 투구 동작에 따른 구간별 근전도 값을 산출하기 위해 동작분석 시스템을 이용하였으며, 동작분석에 따른 데이터 값은 Qualisys Track Manager 프로그램 (Qualisys AB, Goteborg, Sweden)을 이용하였으며, 필터링된 자료는 Visual 3D 프로그램 (C-motion Inc, Marylnad, USA)을 이용하여 인체 분절을 모델링하고 이때 사용된 인체 분절 지수는 인체 측정학적 모델을 이용하여 분절의 질량과 관성모멘트를 추정하였으며, MVIC 값을 사용하여 표준화시키고 평균 적분 근전도 값과 최대 적분 근전도 값을 계산하였다 (Contini 등, 1963).

3) 투구의 동작 구간 설정 및 분석 방법

투구의 동작 구간은 총 여섯 단계로 나누어져 있으며, 영상 분석 시스템에 이전의 연구에 근거하여 구간을 나누었다(Fleisig 등, 2007). 피칭 구간은 Figure2와 같다.

(1) 와인드업 구간(Wind up phase): 야구에서 투구 준비 동작을 이르는 과정(Figure 2. A-B)
(2) 스트라이드 구간(Stride phase): 코킹, 코키드 포지션, 릴리스, 팔로우 스로우로 이어지는 동작에 힘을 실어주기 위한 과정(Figure 2. C-F)
(3) 코킹 구간(Arm cocking phase): 운동에너지를 만들기 위하여, 어깨관절의 바깥쪽 회전이 최대가 되는 과정(Figure 2. F-G)
(4) 가속 구간(Arm acceleration phase): 손끝으로 회전력이 집중되며 공을 릴리즈(release)하는 과정(Figure 2. G-H)
(5) 감속 구간(Arm deceleration phase): 무게 중심이 앞발로 옮겨지는 과정 (Figure 2. H-I)
(6) 팔로우 스루 구간 (Follow through phase): 공이 나간 후 에너지가 다시 하지로 분산되고 몸통은 재균형을 찾는 과정 (Figure 2. I-J)

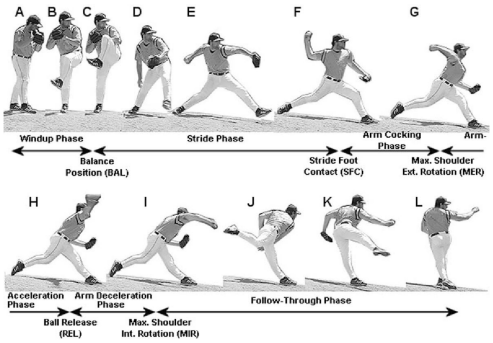

Figure 2. Pitching motion by throwing phase

3. 분석 방법

결과는 평균±표준편차로 표기하였다. 정규성 검정을 위하여 Shapiro-wilk 검정을 시행하였고, Two-way repeated ANOVA를 통하여, 그룹 간, 이닝에 따른 변화를 분석하였다. 사후검정은 Scheffe의 방법으로 실시하였으며, 통계학적 유의수준은 α=.05로 정하였다. 자료의 분석은 통계분석 프로그램(SPSS Window version 25.0, IBM, USA)을 사용하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

대상자들의 신체적 특성은 표 1과 같다. 고등학생 그룹과 중학생 그룹 간에는 나이와 경력에서만 유의한 차이가 나타남을 알 수 있다.

Table 1.
Demographic characteristics in participants

Variables	MS(n=10)	HS(n=10)	p
Age(yrs)	16.35±.35[a]	18.01±.29	.001
Career(yrs)	6.34±.87	8.19±.64	.032
Weight(㎏)	76.78±4.17	81.44±6.75	.091
Height(㎝)	177.94±5.11	181.22±4.54	.084
BMI(㎏/㎡)	23.98±4.57	24.74±5.21	.084

[a]Mean±SD, BMI: Body mass index, MS: Middle school pitchers, HS: High school pitchers

1. 투구의 동작 구간에 따른 EMG 분석

1) 중학생과 고등학생의 와인드업 구간 비교

이닝에 따른 와인드업 구간의 근전도 변화는 UT와 LD에서 통계적 차이가 나타났는데, 먼저 UT를 살펴보면 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생과 고등학생 그룹에서 모두 유의한 감소($p<.05$)가 나타났다. 또한 두 집단($p<.05$) 및 이닝($p<.01$), 또한 집단×이닝($p<.01$)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

LD에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생 그룹에서는 유의한 감소($p<.05$)가 나타났으나, 고등학생 그룹에서는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 두 집단($p<.05$) 및 이닝($p<.05$), 또한 집단×이닝($p<.05$)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 (Table 2).

2) 중학생과 고등학생의 스트라이드 구간 비교

이닝에 따른 스트라이드 구간의 근전도 변화는 UT와 DT에서 통계적 차이가 나타났는데, 먼저 UT를 살펴보면 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생과 고등학생 그룹에서 모두 유의한 감소($p<.05$)가 나타났다. 또한 두 집단($p<.05$) 및 이닝($p<.01$), 또한 집단×이닝($p<.01$)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

DT에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생 그룹에서는 유의한 감소($p<.05$)가 나타났으나, 고등학생 그룹에서는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 두 집단($p<.001$) 및 이닝($p<.01$), 또한 집단×이닝($p<.001$)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 (Table 3).

3) 중학생과 고등학생의 코킹 구간 비교

이닝에 따른 코킹 구간의 근전도 변화는 TB, BC, FR, ER에서 통계적 차이가 나타났는데, 먼저 TB를 살펴보면 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생 그룹에서는 유의한 감소($p<.01$)가 나타났으나, 고등학생 그룹에서는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 두 집단($p<.01$) 및 이닝($p<.01$), 또한 집단×이닝($p<.001$)에서는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

BC에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생과 고등학생 그룹에서 모두 유의한 감소($p<.01$)가 나타났다. 두 집단($p<.05$) 및 이닝($p<.01$), 또한 집단×이닝($p<.001$)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

FR에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생($p<.05$) 및 고등학생($p<.01$) 그룹에서 모두 유의한 감소가 나타났다. 두 집단($p<.01$) 및 이닝($p<.001$), 또한 집단×이닝($p<.001$)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. ER에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생과 고등학생 그룹에서 모두 유의한 감소($p<.01$)가 나타났다. 두 집단($p<.01$) 및 이닝($p<.001$), 또한 집단×이닝($p<.001$)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 4).

4) 중학생과 고등학생의 가속 구간 비교

이닝에 따른 가속 구간의 근전도 변화는 BC, PM, FR, ER, DT에서 통계적 차이가 나타났는데, 먼저 BC를 살펴보면 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생($p<.05$)과 고등학생($p<.01$) 그룹에서 모두 유의한 감소가 나타났다. 또한 두 집단($p<.05$) 및 이닝($p<.05$), 또한 집단×이닝($p<.01$)에서도 유의한 차이가 있었다.

ISSN 1226-3680 (Print)
ISSN 2508-7282 (Online)

Table 2.
The EMG comparison of wind-up phase between group and period

Muscle	Group	1 Inning	4 Inning	7 Inning	F value			
					ANOVA	Group	Inning	Group×Inning
UT	MS	13.61±6.26[a]	14.94±6.36	11.05±5.67	1.264*	.248*	2.475**	3.645**
	HS	14.08±5.48	15.16±8.44	11.83±6.89	3.451*			
TB	MS	5.31±2.47	6.39±2.26	5.22±2.94	4.514	.557	.298	1.784
	HS	6.51±3.79	6.18±3.77	5.72±2.64	5.223			
BB	MS	7.61±3.18	6.94±3.27	7.54±3.33	.264	1.784	6.526	2.141
	HS	8.22±5.13	8.78±2.77	7.78±3.29	3.624			
PM	MS	5.64±2.38	6.49±1.37	6.55±3.31	1.254	2.064	3.331	.289
	HS	6.19±4.38	5.88±2.90	6.42±3.28	3.227			
FR	MS	12.72±5.64	13.18±5.67	13.07±3.99	5.697	3.854	.298	3.478
	HS	13.87±4.12	12.39±6.98	13.18±6.78	4.216			
ER	MS	17.60±5.48	17.54±6.66	18.04±4.21	5.336	1.114	.558	6.595
	HS	18.98±7.32	17.13±8.34	17.88±6.48	1.024			
DT	MS	7.89±4.51	8.22±5.97	7.55±3.74	2.015	2.652	3.756	1.124
	HS	8.44±2.23	7.99±3.09	8.14±4.24	.267			
LD	MS	9.57±6.24	9.31±6.31	7.88±5.09	1.316*	5.024*	2.001*	.996*
	HS	11.59±5.97	13.88±6.52	12.97±4.51	2.331			

[a]Mean(μV)±SD, *p < .05, *p < .01, *p < .001, UT: Upper trapezius, TB: Triceps brachii, BB: Biceps brachii, PM: Pectoralis major, FR: Flexor carpi radialis, ER: Extensor carpi radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle school pitchers, HS: High school pitchers

Table 3.
The EMG comparison of stride Phase between group and period

Muscle	Group	1 Inning	4 Inning	7 Inning	F value			
					ANOVA	Group	Inning	Group×Inning
UT	MS	34.94±16.34[a]	33.48±20.75	34.55±21.75	2.654	1.115	.697	3.663
	HS	35.51±17.24	36.11±19.52	34.14±20.54	3.669			
TB	MS	42.15±20.67	35.62±14.22	32.23±15.19	9.648**	7.856**	1.898**	7.587***
	HS	39.61±19.76	38.33±21.17	37.46±16.48	3.642			
BB	MS	19.54±9.92	22.38±8.88	15.81±6.27	6.336**	6.348*	3.264**	6.989***
	HS	24.73±10.11	23.55±12.91	19.17±10.97	3.647**			
PM	MS	56.37±29.56	57.99±26.31	55.59±24.45	6.998	5.784	5.263	3.004
	HS	57.11±25.59	55.63±24.48	54.97±23.07	4.631			
FR	MS	39.61±17.77	41.17±19.21	33.34±18.85	1.234*	3.691**	2.985***	2.665***
	HS	41.37±20.54	39.04±19.88	31.78±20.68	2.364**			
ER	MS	73.84±33.37	69.97±29.99	64.48±29.11	6.657**	9.305**	8.336***	9.669***
	HS	75.79±24.91	71.71±28.69	65.23±34.68	4.309**			
DT	MS	9.98±4.41	11.34±3.17	9.61±5.66	3.647	6.326	8.632	7.698
	HS	11.24±6.48	10.91±6.47	10.91±6.22	4.267			
LD	MS	46.63±18.67	48.88±22.22	45.47±24.17	.267	.669	6.335	4.197
	HS	47.12±23.42	46.73±30.36	45.27±21.47	1.337			

[a]Mean(μV)±SD, *p < .05, *p < .01, *p < .001, UT: Upper trapezius, TB: Triceps brachii, BB: Biceps brachii, PM: Pectoralis major, FR: Flexor carpi radialis, ER: Extensor carpi radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle school pitchers, HS: High school pitchers

PM에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생(p < .01) 및 고등학생(p < .05) 그룹에서 모두 유의한 감소가 나타났다. 두 집단(p < .05) 및 이닝(p < .01), 또한 집단×이닝(p < .001)에서 유의한 차이가 있었다.

FR에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생(p < .01)과 고등학생(p < .001) 그룹에서 모두 유의한

Table 4.
The EMG comparison of arm cocking Phase between group and period

Muscle	Group	1 Inning	4 Inning	7 Inning	F value			
					ANOVA	Group	Inning	Group×Inning
UT	MS	34.94±16.34	33.48±20.75	34.55±21.75	2.654	1.115	.697	3.663
	HS	35.51±17.24	36.11±19.52	34.14±20.54	3.669			
TB	MS	42.15±20.67	35.62±14.22	32.23±15.19	9.648**	7.856**	1.898**	7.587***
	HS	39.61±19.76	38.33±21.17	37.46±16.48	3.642			
BB	MS	19.54±9.92	22.38±8.88	15.81±6.27	6.336**	6.348*	3.264**	6.989***
	HS	24.73±10.11	23.55±12.91	19.17±10.97	3.647**			
PM	MS	56.37±29.56	57.99±26.31	55.59±24.45	6.998	5.784	5.263	3.004
	HS	57.11±25.59	55.63±24.48	54.97±23.07	4.631			
FR	MS	39.61±17.77	41.17±19.21	33.34±18.85	1.234*	3.691**	2.985***	2.665***
	HS	41.37±20.54	39.04±19.88	31.78±20.68	2.364**			
ER	MS	73.84±33.37	69.97±29.99	64.48±29.11	6.657**	9.305**	8.336***	9.669***
	HS	75.79±24.91	71.71±28.69	65.23±34.68	4.309**			
DT	MS	9.98±4.41	11.34±3.17	9.61±5.66	3.647	6.326	8.632	7.698
	HS	11.24±6.48	10.91±6.47	10.91±6.22	4.267			
LD	MS	46.63±18.67	48.88±22.22	45.47±24.17	0.267	0.669	6.335	4.197
	HS	47.12±23.42	46.73±30.36	45.27±21.47	1.337			

[a]Mean(μV)±SD, UT: Upper trapezius, TB: Triceps brachii, BB: Biceps brachii, PM: Pectoralis major, FR: Flexor carpi radialis, ER: Extensor carpi radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle school pitchers, HS: High school pitchers, *p < .05, *p < .01, *p < .001

감소가 나타났다. 두 집단(p < .001)과 이닝(p < .001), 또한 집단×이닝(p < .001)에서도 유의한 차이가 있었다.

ER에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학(p < .001)과 고등학생(p < .01) 그룹에서 모두 유의한 감소가 나타났다. 두 집단(p < .001) 및 이닝(p < .001), 또한 집단×이닝(p < .001)에서 유의한 차이가 있었다.

마지막으로, DT에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생과 고등학생 그룹에서 모두 유의하게 감소하였다(p < .01). 두 집단(p < .01) 및 이닝(p < .01), 또한 집단×이닝(p < .001)에서도 유의한 차이가 있었다 (Table 5).

5) 중학생과 고등학생의 감속 구간 비교

이닝에 따른 감속 구간의 근전도 변화는 FR, ER, DT, LD에서 통계적 차이가 나타났는데, 먼저 FR을 살펴보면 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생과 고등학생 그룹에서 모두 유의하게 감소하였다(p < .01). 또한 두 집단(p < .01) 및 이닝(p < .01), 또한 집단×이닝(p < .01)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

ER에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생과 고등학생 그룹에서 모두 유의한 감소(p < .01)가 나타났다. 두 집단(p < .05) 및 이닝(p < .01), 또한 집단×이닝(p < .001)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

DT에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생과 고등학생 그룹에서 모두 유의한 감소(p < .05)가 나타났다. 두 집단(p < .05) 및 이닝(p < .05), 또한 집단×이닝(p < .01)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

LD에서는 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생과 고등학생 그룹에서 모두 유의한 감소(p < .01)가 나타났다. 이닝(p < .01), 집단×이닝(p < .001)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났지만 두 집단간 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 6).

6) 중학생과 고등학생의 팔로우 스루 구간 비교

이닝에 따른 팔로우 스루 구간의 근전도 변화는 LD에서 통계적 차이가 나타났는데, 이닝에 따른 집단 내 통계 결과에서는 중학생(p < .05) 및 고등학생(p < .01) 그룹에서 모두 유의한 감소가 나타났다. 또한 두 집단(p < .01) 및 이닝(p < .01), 또한 집단×이닝(p < .001)에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 7).

Ⅳ. 고 찰

본 연구는 투구 이닝 별, 청소년 야구선수의 각 근육별 근전도 활성화 차이를 확인한 최초의 연구이다. 본

ISSN 1226-3680 (Print)
ISSN 2508-7282 (Online)

Table 5.
The EMG comparison of arm acceleration Phase between group and period

Muscle	Group	1 Inning	4 Inning	7 Inning	F value			
					ANOVA	Group	Inning	Group×Inning
UT	MS	66.26±26.34[a]	68.00±21.07	67.84±29.60	3.698	1.157	6.562	3.661
	HS	66.91±21.71	67.98±29.11	65.33±21.04	2.781			
TB	MS	87.79±33.64	88.99±26.55	85.73±39.94	3.145	5.661	4.585	3.664
	HS	86.74±38.24	86.18±27.86	88.91±35.82	1.964			
BB	MS	18.74±9.07	19.96±9.38	15.52±6.66	2.887*	2.697*	8.006*	5.194**
	HS	23.37±10.40	18.77±9.11	16.73±10.99	6.695**			
PM	MS	52.29±19.63	49.97±26.33	41.17±29.77	3.146**	2.348*	7.778**	5.648***
	HS	55.88±34.29	55.07±33.48	50.97±29.61	6.441*			
FR	MS	90.49±55.08	96.34±30.19	80.29±40.88	.648**	3.334***	8.497***	4.669***
	HS	96.48±48.93	96.66±31.65	82.66±39.71	6.317***			
ER	MS	50.08±27.17	42.29±30.74	39.66±25.94	6.998***	6.1114***	5.934***	3.019***
	HS	56.73±23.68	52.66±29.78	46.39±28.77	7.215**			
DT	MS	35.28±14.61	29.99±19.93	26.66±16.20	4.441**	7.787**	1.854**	7.523***
	HS	36.99±20.91	31.11±14.74	28.87±18.77	3.745**			
LD	MS	78.79±36.65	77.47±30.21	77.25±19.97	3.595	6.997	5.610	6.107***
	HS	80.11±50.49	82.57±19.63	79.46±34.61	4.021			

[a]Mean(μV)±SD, *p < .05, *p < .01, *p < .001, UT: Upper trapezius, TB: Triceps brachii, BB: Biceps brachii, PM: Pectoralis major, FR: Flexor carpi radialis, ER: Extensor carpi radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi,MS: Middle school pitchers, HS: High school pitchers

Table 6.
The EMG comparison of arm acceleration Phase between group and period

Muscle	Group	1 Inning	4 Inning	7 Inning	F value			
					ANOVA	Group	Inning	Group×Inning
UT	MS	50.09±31.18[a]	51.48±17.97	49.11±20.08	6.331	4.187	2.364	.314
	HS	51.34±12.22	50.25±24.73	47.57±22.22	5.257			
TB	MS	51.18±26.61	50.27±19.97	49.92±22.97	4.257	5.554	2.978	1.687
	HS	52.92±19.44	50.87±29.77	51.33±29.17	3.651			
BB	MS	41.14±20.04	40.55±10.37	39.97±16.94	2.364	3.336	4.571	5.503
	HS	40.22±18.17	41.59±20.14	41.67±21.37	1.117			
PM	MS	25.31±10.21	23.31±9.67	24.51±8.89	2.547	1.247	.698	6.641
	HS	25.88±12.36	26.77±13.02	24.99±10.91	3.664			
FR	MS	70.39±29.97	65.15±26.24	60.07±23.31	5.178**	5.267**	6.314**	7.209**
	HS	76.88±34.18	72.17±24.92	63.71±21.08	7.624**			
ER	MS	38.15±18.31	30.74±15.52	29.34±12.27	4.698**	8.304*	3.659**	5.998***
	HS	40.36±20.71	39.11±16.44	31.29±15.01	6.014**			
DT	MS	55.54±20.03	51.14±18.42	48.82±16.34	6.552*	6.222*	4.657*	8.694**
	HS	57.20±23.11	53.23±21.08	49.22±19.81	4.651*			
LD	MS	57.29±19.34	56.97±21.35	46.37±19.67	2.014**	3.641	5.691**	2.687***
	HS	57.54±20.19	54.03±19.11	47.44±20.58	4.018**			

[a]Mean(μV)±SD, *p < .05, *p < .01, *p < .001, UT: Upper trapezius, TB: Triceps brachii, BB: Biceps brachii, PM: Pectoralis major, FR: Flexor carpi radialis, ER: Extensor carpi radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle school pitchers, HS: High school pitchers

연구의 가설대로 반복 투구에 따른 상지 근육의 활성도가 중학생과 고등학생 간의 차이가 나타날 것이며, 또한 반복 투구가 진행될수록 활성화된 근육의 차이가 나타날 것이다.

Table 7.
The EMG comparison of follow through Phase between group and period

Muscle	Group	1 Inning	4 Inning	7 Inning	F value			
					ANOVA	Group	Inning	Group×Inning
UT	MS	15.15±9.61[a]	16.66±8.63	15.55±6.33	2.345	5.014	2.364	.267
	HS	17.82±8.48	16.19±10.28	16.33±9.43	3.624			
TB	MS	5.51±3.64	6.36±2.66	6.01±3.52	.234	3.959	4.615	7.264
	HS	4.61±4.09	4.14±3.67	3.78±3.54	3.667			
BB	MS	7.01±4.55	6.97±3.63	7.77±4.02	5.621	2.030	2.684	4.978
	HS	7.22±5.14	8.08±5.27	7.98±4.09	1.264			
PM	MS	6.11±3.63	5.88±3.64	6.31±3.01	3.241	6.348	5.661	5.626
	HS	6.09±2.98	5.89±3.94	6.12±3.08	1.687			
FR	MS	12.88±6.65	13.01±5.58	13.15±5.30	6.214	.668	1.597	5.614
	HS	13.07±5.11	12.99±6.18	12.88±7.08	1.264			
ER	MS	17.09±9.99	16.85±9.04	17.89±10.11	3.334	2.331	5.612	1.245
	HS	17.96±10.22	17.93±10.34	17.38±10.08	2.364			
DT	MS	7.96±3.33	8.23±3.04	8.03±3.71	1.654	5.656	3.415	6.982
	HS	8.04±4.20	7.94±3.19	8.41±4.29	4.214			
LD	MS	12.87±6.91	9.31±5.66	7.16±4.96	2.364*	3.754**	1.865**	7.558***
	HS	12.18±7.44	11.18±6.85	8.07±5.71	3.614**			

[a]Mean(㎶)±SD, *p < .05, *p < .01, *p < .001, UT: Upper trapezius, TB: Triceps brachii, BB: Biceps brachii, PM: Pectoralis major, FR: Flexor carpi radialis, ER: Extensor carpi radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle school pitchers, HS: High school pitchers

중학생과 고등학생 간의 투구 생체역학 테스트는 투구 부상 위험을 확인하고 투구 동작 개입을 알리기 위해 투구 역학 효율성과 관절 부하를 평가한다.

Gowan 등(1987)은 야구공을 던지기 위해 특정 근육을 효율적이고, 선택적으로 사용하는 것과 하지의 근육을 사용하는 복합적인 동작으로 투수의 자질을 결정한다고 하였다. 투구는 하지의 근육을 사용하는 복합적인 동작으로, 몸통, 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락. 숙련된 투수는 이러한 근육이 잘 조정되고 잘 조절되어 있어서 야구공을 정확하고 빠르며 반복적으로 던지게 된다.

어깨와 팔을 공간에 올바르게 배치하여, 야구공으로 전달되는 에너지의 양을 결정하는 데에도 중요합니다. 테스트 투구의 평균 속도는 경기 상황에서 발생하는 속도보다 상당히 낮았고 투구 성능에 대한 사전 EMG 측정이 기록되지 않았기 때문에 가치가 있을 수 있습니다(Gowan 등, 1987). 근활성화는 일반적으로 근육 수축의 효율 및 운동피질 영역에서의 조절의 변화를 동반한다(Gogia와 Sabbahi, 1994). 또한 고유 수용 신호와 근방추 입력의 신뢰성을 간접적으로 변경하여, 관절 간의 안정성을 유지하는 능력을 손상한다(Falla 등, 2004).

Manzi 등(2023)의 연구에 따르면, 909명의 성인 야구선수가 투구 동작 시, 엉덩근육과 무릎 주변 근육의 활성화 되었음을 알 수 있다. 또한 골반과 체간의 투구 동작시 강한 상관관계가 있었음을 알 수 있다. 투구 동작은 효과적이고 일관된 피칭을 보장하기 위해서는 상지뿐만 아니라 몸통과 하지의 근력이 매우 중요하다. 하지의 주요 역할 투구 동작의 사지는 에너지를 보존하고 몸통의 흔들림을 제어하며 특히 위팔뼈 근위 골단과 관련된 유소년 선수의 어깨 장애를 예방하기 위해 상체를 감속하였다(Manzi 등, 2023).

Park 등(2008)의 연구에 따르면, 14명의 야구선수에게 6가지 다른 위치에서 어깨 내전 및 대각선 운동과 함께 최대 편심성 근육 활동 동안 EMG 진폭 반응의 패턴을 조사하는 것이다. 상지 근육 복합체의 후방 부분은 대각선 어깨 움직임과 함께 편심성 근육 활동에 대해 모든 테스트 하는 동안 전반적으로 높은 근육 활동을 생성하였다.

DT, UT 및 중간 승모근 근육은 어깨 내전을 동반한 편심근 작용과 어깨 사선 운동을 동반한 편심근 작용의 차이를 보인다. 팔이 외부에서 너무 많이 회전하지 않도록 하려면 편심 내부 회전 토크가 필요하였다. 팔이 뒤로 회전함에 따라 외반 확장을 방지하기 위한 내반 토크가 필요하였다. UCL는 이 내반 회전력에 이바지하는 것으로 여겨지지만 예비 사체 작업에서 UCL이 자체적으로

ISSN 1226-3680 (Print)
ISSN 2508-7282 (Online)

이 회전력을 견딜 만큼 충분히 강하지 않은 것으로 나타났다.

내측 상과에서 시작되는 손목 굴근-회내근 그룹의 수축도 내반 토크를 제공하였다. 팔꿈치근과 TB는 이 단계에서도 활성화되었으며 관절을 압박하고 안정성을 추가하여 UCL에서 나타나는 스트레스를 최소화하는 데 도움이 되었을 수 있다(Park 등, 2008; Werner 등, 1993). Roberts의 연구에 따르면 차동 신경 차단(differential nerve block)으로 인해 삼두근이 마비된 투수는 마비되기 전의 속도의 80% 이상 공을 던질 수 있었다. 이것은 삼두근 수축이 투구에서 볼 수 있는 모든 팔꿈치 확장 속도를 생성하지 않는다는 개념을 뒷받침하였다(Hong 등, 2001).

본 연구에서는 중학생과 고등학생 간의 반복 투구를 하였을 때, 각 근육의 활성화 차이와 이닝별 근육 활성화에 대한 차이가 있었다고 할 수 있다.

본 연구의 제한점은 대상자 수가 제한되어 있기 때문에, 일반화하기 어렵다. EMG가 아닌 침근전도를 통하여 심부 근육의 근 피로 및 활성화에 관한 연구가 필요하다. 추후 연구에서는 중학생과 고등학생 야구선수 간의 침근전도를 통하여, 심부 근육의 근피로도 및 근 활성화 차이에 관한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

Ⅴ. 결 론

본 연구는 아마추어 중학생과 고등학생 야구선수의 각 투구 구간별 근전도 차이와 이닝 별 각 근육의 활성화 차이 그리고 중학생과 고등학생 간의 근전도 차이를 확인하였습니다. 특히 구간별로 나누었을 때, 유의한 차이가 나타나는 근육들이 있었으며, 이닝에서도 유의한 차이가 나타났음을 알 수 있다. 그리고 중학생과 고등학생 간의 근전도 차이가 나는 근육이 있었음을 알 수 있다.

1. 와인드업 구간과 스트라이드 구간에서는 두 그룹 모두 UT에서 시간별 차이가 나타났으며, 그룹 간에도 차이가 났다($p<.05$).
2. Arm cocking 구간과 arm acceleration 구간에서는 두 그룹 모두 BC, FR과 ER에서 시간별 차이가 있었으며, 고등학생 야구선수가 이닝 간 더 큰 차이가 있었음을 알 수 있다($p<.05$).
3. Arm deceleration 구간과 follow through 구간에서는 두 그룹 모두 LD에서 시간별 차이가 있었으며, 고등학생 야구선수가 이닝 간 더 큰 차이가 있었음을 알 수 있다($p<.05$).

참고문헌

Bullock GS, Menon G, Nicholson K, et al. Baseball pitching biomechanics in relation to pain, injury, and surgery: A systematic review. J Sci Med Sport. 2021;24(1):13-20. https://doi.org/10. 1016/j.jsams.2020.06.015

Camp CL, Dines JS, Van der list JP. Summative report on time out of play for major and minor league baseball: An analysis of 49,955 injuries from 2011 through 2016. Am J Sports Med. 2018;46(7):1727-1732. https://doi.org/10.1177/0363546518765158

Contini R, Drills RJ, Bluestein M, et al. Determination of body segment parameters. Hum Factors. 1963;10(5):493-504. https://doi.org/10.1177/001872086300500508

Cram JR. Biofeedback Applications. Electromyography: Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken. 2004;435-451.

De Luca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. J Appl Biomech. 1997;13(2):135-163. https://doi.org/10.1123/jab.13.2.135

Fleisig G, Yungchien C, Weber A. Variability in baseball pitching biomechanics among various levels of competition. Sports Biomech. 2007;8(1):10-21. https://doi.org/10.1080/14763140802629958

Fortenbaugh D, Fleisig GS, Andrews JR. Baseball pitching biomechancis in relation to injury risk and performance. Sports Health. 2009;1(4):314-320. https://doi.org/10.1177/1941738109338546

Escamillar RF, Andrews JR. Shoulder muscle recruitment patterns and related biomechanics during upper extremity sports. Sports Med. 2009;39:560-590. https://doi.org/10.2165/00007256-200939070-00004

Falla D, Jull G, Hodges PW. Feedforward activity of the cervical flexor muscles during

voluntary arm movements is delayed in chronic neck pain. Exp Brain Res. 2004b;157(1):43-48. https://doi.org/10.1007/s00221-003-1814-9

Gogia PP, Sabbahi MA. Electromyographic analysis of neck muscle fatigue in patients with osteoarthritis of the cervical spine. Spine. 1994;19(5):502-506. https://doi.org/10.1097/00007632-199403000-00002

Gowan ID, Jobe FW, Tibone JE, et al. A comparative electromyographic analysis of the shoulder during pitching. Professional versus amateur pitchers. Am J Sports Med. 1987;15(6):586-590. https://doi.org/10.1177/036354658701500611

Harryman DT, Sidles JA, Clark JM. Translation of the humeral head on the glenoid with passive glenohumeral motion. J Bone Joint Surg. 1990;72:1334-1343. https://doi.org/2229109

Hong DA, Cheung TK, Roberts EM. A three-dimensional, six-segment chain analysis of forceful overarm throwing. J Electromyogr Kinesiol. 2001;11(2):95-112. https://doi/org/10.1016/s1050-6411(00)00045-6

Manzi JE, Jonathan SY, Sudah SY, et al. A systematic review of lower-body kinematics and strength factors assocated with pitch velocity in adult basball plyaers. J Sprots REhabil. 2023;32(4):440-448. https://doi.org/10.1123/jsr.2022-0059

Park IB, Yeo NH, Shim JM. A change of EMG on upper limbs muscle according to pitching variation in baseball pitchers. Korean J Sports Sci. 2008;17(4):1501-1508. https://doi.org/G704-001369.2008.17.4.093

Park S, Miyakawa S, Shiraki H. EMG analysis of upper extremity muscles during isokinetic testing of the shoulder joint. Japanese J Phys Fit Sports Med. 2008;57(1):101-110. https://doi.org/10.7600/jspfsm.57.101

Posner M, Cameron KL, Wolf JM, et al. Epidemiology of major league baseball injuries. AM J Sports Med. 2011;39(8):1676-1680. https://doi.org/10.1177/0363546511411700

Sabick MB, Kim Y, Torry MR, et al. Biomechanics of the shoulder in youth baseball pitchers: Implications for the development of proximal humeral epiphysiolysis and humeral retrotorsion. Am J Sports Med. 2005;33(11):1716-1722. https://doi.org/10.1177/036354 650 5275347

Shanley E, Rauh MJ, Michener LA, et al. Incidence of injuries in high school softball and baseball players. J Athl Train. 2011;46(6):648-654. https://doi.org/10.4085/1062-6050-46.6.648

Sisto DJ, Jobe FW, Moynes DR. An electromyographic analysis of the elbow in pitching. Am J Sports Med. 1987;15(3):260-263. https://doi.org/10.1177/ 036354658701500314

Werner SL, Fleisig GS, Dillman Cj, et al. Biomechanics of the elbow during baseball pitching. J Orthop Sports Phys Ther. 1993;17(6):274-278. https://doi.org/10.2519/jospt.1993.17.6.274

논문접수일(Date received) : 2023년 06월 30일
논문수정일(Date Revised) : 2023년 07월 24일
논문게재확정일(Date Accepted) : 2023년 07월 31일