

# 진동자극을 이용한 저항운동이 앞십자인대 재건술 후 무릎관절 근력과 균형에 미치는 영향

배창환<sup>1</sup>, 이중호<sup>1</sup>, 김제춘<sup>2</sup>, 김명권<sup>3</sup>, 김성환<sup>4</sup>

배창환 운동센터, 경동대학교 물리치료학과<sup>1</sup>, 울산병원 물리치료팀<sup>2</sup>, 대구대학교 물리치료학과<sup>3</sup>, 김성환 페달로 운동센터<sup>4</sup>

## Effects of Resistance Exercise Using Vibration Stimulation on Knee Muscle Strength and Balance after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Chang-hwan Bae, Jung-ho Lee<sup>1</sup>, Je-chun Kim<sup>2</sup>, Myeong-gwon Kim<sup>3</sup>, Seong-hwan Kim<sup>4</sup>

Dept. of Physical Therapy, Bae Chang Hwan Training Center

Dept. of Physical Therapy, Kyungdong University<sup>1</sup>

Dept. of Physical Therapy, Ulsan Hospital<sup>2</sup>

Dept. of Physical Therapy, Daegu University<sup>3</sup>

Dept. of Physical Therapy, Kim Seong Hwan Pedalo Training Center<sup>4</sup>

### Key Words:

ACL, Vibration stimulation, Knee strength, Proprioception

### ABSTRACT

**Background:** The purpose of this study was to investigate how the resistive exercises with vibration stimuli could affect the strength of knee muscles and balance in patients with a history of reconstructive surgery. **Methods:** Thirty four subjects with anterior cruciate ligament reconstruction were randomly divided into 3 groups; Resistive exercises with vibration stimuli group (n=11), Resistive exercises (n=11) and control group (n=12). The paired t-test was used to show the variation before and after exercise in all three groups. One way ANOVA was used to separate the total variation between groups. **Results:** The results showed that there was significant improve in the strength of knee muscles in all three groups and resistive exercise with vibration stimuli he group showed a better result in all area than the other two groups. Comparisons of sway distances with open and closed eyes showed a statistically significant decrease before and after treatment in all three groups, there was no statistically significant difference between groups. There was a significant difference only in the sway distance with the eyes closed. **Conclusions:** Applying the resistive exercise with vibration stimuli as a therapeutic exercise program resulted in a positive effect to the functional activity not only in rapidly recovering the strength the weaken muscles and lost of balance ability, but also expecting an earlier return to daily life by advancing the date of the process for the functional activity.

## I. 서론

무릎관절 손상 중에서도 앞십자인대(anterior cruciate ligament) 손상은 가장 흔한 손상으로 무릎관절 과다

굽힘, 벌림 및 가쪽 돌림에 잘 발생한다(이재식, 1994).

앞십자인대 재건술은 가장 흔한 무릎 수술 중 하나로써(Majewski 등, 2006), 재건술은 정형 외과적 수술로 무릎관절의 기계적 안정성을 향상시킨다(Beasley 등, 2005). 앞십자인대 재건술 후 시행하는 재활운동은 이 식건의 정상적인 치유를 유도하여 무릎관절 안정성 회복과 무릎관절의 정상적인 기능을 회복하는 것이며, 이

교신저자: 김명권(대구대학교, kimmk@daegu.ac.kr)  
논문접수일: 2017.11.02, 논문수정일: 2017.11.21,  
게재확정일: 2017.11.24.

배창환 등. 진동자극을 이용한 저항운동이 앞십자인대 재건술 후 무릎관절 근력과 균형에 미치는 영향

과정에서 발생할 수 있는 과도한 스트레스로부터 이식건이 손상되지 않도록 보호하며, 이식된 힘줄의 콜라겐 생성 및 형성을 촉진할 수 있는 적절한 부하를 유도하는 것이 목적이다(김려섭, 2007). 앞십자인대 재건술 후 근력과 균형능력 회복에 대한 연구들을 살펴보면, 배창환 등(2011)은 운동프로그램 참여시기에 따른 등척성 근기능을 비교하였고, 장영우(2013)의 연구에서는 등속성 재활운동을 통해 근력 회복에 긍정적인 영향을 주었다고 보고하였다.

고유수용성감각에 대한 재활운동프로그램의 연구를 살펴보면 김귀현(2004)과 Reider 등(2003)은 재활 운동 후 환측의 고유수용성 감각기능이 향상되었다고 보고하였다. 앞십자인대 재건술 후 재활운동의 종류는 등척성 운동(isometric exercise), 등장성 운동(isotonic exercise), 등속성 운동(isokinetic exercise), 플라이오메트릭 운동(plyometric exercise), 열린사슬운동과 닫힌사슬운동이 있고, 최근 운동치료 영역에서 응용되고 있는 전신진동 자극운동은 인체에 무해한 수준의 진동수와 진폭을 활용하여 근육과 신경을 자극하는 운동으로 많이 적용하고 있다. 전신진동 운동은 Lebedev와 Poliakov(1991)의 연구에서 진동자극을 받는 동안 골격근은 근육길이의 변화들을 경험하게 되고 이것은 척수 반사 흥분 능력을 촉진시킨다고 하였으며, 진동자극으로 인한 근 방추 수용기의 활성화는 직접적으로 진동자극을 받은 근육뿐만 아니라 주변 근육에 까지도 영향을 미친다고 보고하였다(Kasai 등, 1992).

앞십자인대 재건술을 시행한 환자를 대상으로 전신진동 운동을 적용한 사례를 보게 되면, Moezy 등(2008)이 재건술 후 3개월 지난 후에 전신진동 자극운동을 실시하였을 때 무릎관절 고유수용성 감각과 자세안정성에 대한 효과를 연구하였다. 또한 Fu 등(2013)은 재건술 후 전신진동 운동의 효과를 연구하기 위하여 수술 후 4주 환자를 대상으로 근력과 관절의 위치감각 및 기능적 능력에 대한 효과를 보고하였다. 하지만 앞십자인대 재건술 후 근력, 관절가동범위, 고유수용성 감각, 관절의 안정성을 회복시키기 위한 초기 재활운동의 중요성이 강조되고 있으나(전매희와 정현, 2013; 김장규와 장지훈, 2012; 배창환 등, 2011; Shelbourne와 Nits, 1990), 수술 후 전신진동 운동을 매개로 한 연구에서 연구 대상자가 4주가 가장 빠른 시기였으며, 아직까지 진동자극을 이용한 근력과 균형에 대한 연구가 부족한 실정이었다. 또한 진동자극을 이용하여 실시한 연구 중 대부분이 정적인 동작에서의 연구들이(김재영, 2013; Jacobs와 Burns 2009; Cormie 등, 2006; Bosco 등, 1999) 많았고, 동적인 동작에서 진동자극을 적용한

연구들은 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 초기 재활운동을 바탕으로 앞십자인대 재건술 후 2주 경과한 환자에게 진동자극을 이용한 저항운동을 적용함으로써 무릎관절 근력과 균형에 어떠한 영향을 주는지 규명하고, 보다 효과적이며 체계적인 운동치료 방법을 제시하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구 앞십자인대 파열 진단을 받고 앞십자인대 재건술을 시행한 환자로 본 연구의 취지를 이해하고 연구 참여에 동의한 34명을 대상으로 실시하였다. 본 연구 대상자를 진동자극을 이용한 저항운동군 11명, 저항운동군 11명, 대조군 12명으로 무작위로 분류하였다. 실험 전 모든 대상자들에게 실험의 목적 및 내용을 충분히 설명한 후에 실험을 실시하였다.

### 2. 실험 방법

진동자극을 이용한 저항운동과 저항운동군의 운동 방법은 동일한 방법으로 실시하였고, 진동자극을 이용한 저항운동에서만 근력운동을 하는 동안 진동자극을 적용하였다. 근력운동은 6주 동안 주 3회 50분간 운동치료를 실시하였고, 대조군은 냉치료 15분, 전기치료(STT-200, Stratek, Korea) 15분, 지속적 수동 운동(CPS-1000, Stratek, Korea) 20분으로 실시하였다.

사전검사로 근력측정은 타당성과 신뢰성이 증명된 Biodex system 3 Pro를 이용하여 측정하였고(Drouin 등, 2004), 균형검사는 Biorescue (RM INGENIERIE, France)를 이용하여, 정적균형과 동적균형을 측정하였다. 사후검사는 6주 후 연구 전 검사와 동일한 방법으로 시행하였다.

#### 1) 운동 프로그램

앞십자인대 재건술 후 운동 프로그램은 Brotzman와 Manske(2011) 연구와 Shaw 등(2005)의 연구에서 제시한 앞십자인대 재건술 후 운동재활 프로그램을 본 연구의 실정에 맞게 수정 보완하여 적용하였다.

운동 프로그램은 준비운동(warm-up), 본운동(main-training), 정리운동(cool-down)의 3단계로 실시하였으며, 진동자극을 이용한 저항운동은 진동자극기(VR-1000, Etech, Korea)를 이용하여 작동 주파수를 각각 20 Hz, 30 Hz, 40 Hz로 증가시켜 진동자극을 적용하였다(Figure 1). 전체 운동시간은 1회 50분으로 주 3회 6주간 시행하였다(Table 1).

**Table 1.** Exercise program

Level	Component	Item	Intensity	Time
Warm-up		Self Stretching	30sec/2set	10min
		Joint mobilization	5min	
		SLR (quadriceps femoris)	20RM/2set	
Main-training	Resistance exercise	SLR (Hamstring)	(1-2weeks)	30min
		SLR (Gluteus medius)		
		Wall squat (vibrator 20 Hz)	20RM/3set	
		Calf raise (vibrator 20 Hz)	(3-4weeks)	
		Toe raise (vibrator 20 Hz)		
Cool down		1-2weeks 20 Hz, 3-4weeks: 30 Hz	20RM/4set	10min
		5-6weeks 40 Hz	(5-6weeks)	
Cool down		Bicycle		10min

SLR : straight leg raise  
RM : repetition maximum



**Figure 1.** Vibrator instrument



**Figure 2.** Biodex System 3 Pro

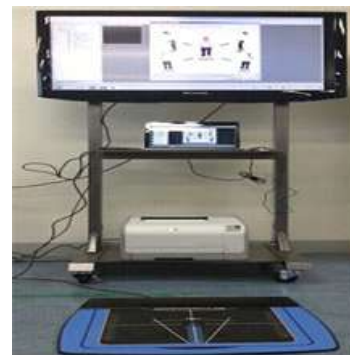
**2) 측정 도구 및 방법**

**(1) 근력 검사**

근력의 측정은 Isokinetic testing and Rehabilitation system (Biodex system 3 pro, Biodex, USA)을 사용하였다. 측정하기 전 준비운동을 실시한 후, 측정 시 피험자를 Biodex 검사대에 앉히고, 무릎관절 운동축과 기계의 운동축이 일치되도록 하였으며, 피험자의 몸통과 허리 그리고 측정되는 무릎관절의 발목은 스트랩(straps)을 이용하여 고정하였다(Figure 2). 또한 하지의 무게가 무릎관절 최대우력에 영향을 주는 것을 막기 위해 중력토크 영향(gravity effect torque)을 측정하여 컴퓨터에 입력하였다(이학송과 임인수, 2009). 검사 프로토콜은 환자의 관절가동범위의 제한 및 통증으로 인해 관절 각도를 수정 보완하여 무릎관절 각도 45° 굴곡에서 넙다리 네갈래근과 뒤넙다리근 등척성 근력검사를 실시하였다. 근 수축 시간은 6초간 유지한 후 5초간 휴식을 취하도록 하여 총 3회 측정하였다.

**(2) 균형검사**

균형능력을 측정하기 위하여 Bio-Rescue (RM INGENIERIE, France)를 이용하여, 정적균형 측정하였다(Figure 3). 정적균형을 검사하기 위하여 바로 선 자세에서 30° 정도 다리를 벌린 후 전방을 주시하게 한 후 훈련방법을 동영상상을 통해 설명한 후 먼저 시범을 보인 다음 실시하였다. 눈을 뜬 자세와 눈을 감은 자세에서 각각 1분간 중심을 잡도록 한 후 몸의 중심점의 총 이동 거리와 면적을 측정하여 평가 하였다.



**Figure 3.** Bio-Rescue

배창환 등. 진동자극을 이용한 저항운동이 앞십자인대 재건술 후 무릎관절 근력과 균형에 미치는 영향

### 3. 분석방법

본 연구에서 측정된 자료는 IBM SPSS Statistics 20.0 software를 이용하여 통계처리를 하였다. 그룹 간 일반적 신체적 특성에 대하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)으로 검정하였다. 실험군과 대조군의 실험 전과 실험 후 근력과 균형 비교를 대응 t-검정을 하였으며, 실험 전과 실험 전-후 변화량에 대한 그룹 간 차이를 비교하기 위하여 일원 배치 분산분석(one-way ANOVA)으로 검정하였으며, 검정 후 그룹 간의 차이를 설명하기 위하여 사후분석으로 Least Square Difference (LSD)를 실시하여 통계처리 하였고, 유의수준은  $\alpha=.05$ 로 정하였다.

## III. 결 과

### 1. 연구대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참여한 연구 대상자 34명 중 진동자극을 이용한 저항운동군 11명, 저항운동군 11명, 대조군 12명이었고, 연구 대상자의 일반적 특성에 대한 각 그룹 간 통계학적으로 유의한 차이는 없었다( $p>.05$ )(Table 2).

**Table 2.** General characteristics of subjects

Category	VSREG (n=11)	REG (n=11)	CG (n=12)	p
Sex (male/ female)	11	9/2	12	
Age (yrs)	29.91±8.11 <sup>a</sup>	31.00±8.56	29.17±6.80	.854
Height (cm)	176.64±3.35	173.73±8.13	175.75±6.18	.536
Weight (kg)	73.91±4.70	71.09±9.48	74.75±5.94	.963
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.50±1.36	23.51±2.61	24.02±1.77	.625

<sup>a</sup>Mean±SD

VSREG: Vibration stimulus resistance exercise group

REG : Resistance exercise group

CG: Control group

### 2. 환측 넙다리네갈래근 근력의 변화

환측 넙다리네갈래근 근력의 변화는 진동자극을 이용한 저항운동군, 저항운동군, 대조군에서 운동치료 전과 후에 유의한 증가를 보였다( $p<.05$ ). 그룹 간 넙다리네갈래근 근력의 변화는 유의한 차이가 있었고( $p<.05$ ), 사후검정을 실시한 결과, 진동자극을 이용한 저항운동

과 대조군, 저항운동과 대조군에서 유의한 차이가 있었으나( $p<.05$ ) 진동자극을 이용한 저항운동군과 저항운동군의 넙다리네갈래근 근력의 변화는 유의한 차이가 없었다(Table 3)( $p>.05$ ).

**Table 3.** Comparison of IQF between pre and post value for the three groups

Group	Pre	Post	t	p
VSREG	79.18±12.09 <sup>a</sup>	189.00±26.75	-12.333	.000
REG	75.27±13.33	163.82±12.36	-11.326	.000
CG	77.09±20.29	111.00±24.35	-7.541	.000
F		29.619		
P		.000		
Post-Hoc	VSREG>CG, REG>CG			

<sup>a</sup>Mean(%)±SD

VSREG: Vibration stimulus resistance exercise group

REG: Resistance exercise group

CG: Control group

IQF : Involve quadriceps femoris

### 3. 환측 뒤넙다리근 근력의 비교

환측 뒤넙다리근 근력의 변화는 진동자극을 이용한 저항운동군, 저항운동군, 대조군에서 운동치료 전과 후에 유의한 증가를 보였다( $p<.05$ ). 각 그룹 간 뒤넙다리근 근력의 변화는 유의한 차이가 있었고( $p<.05$ ), 사후검정을 실시한 결과 진동자극을 이용한 저항운동군과 대조군, 저항운동군과 대조군에서 유의한 차이가 있었으나( $p<.05$ ) 진동자극을 이용한 저항운동군과 저항운동군의 뒤넙다리근 근력의 변화는 유의한 차이가 없었다( $p>.05$ )(Table 4).

**Table 4.** Comparison of IH between pre and post value for the three groups

Group	Pre	Post	t	p
VSREG	43.82±12.09 <sup>a</sup>	82.27±17.29	-8.05	.000
REG	46.18±12.86	75.91±21.55	-7.00	.000
CG	48.83±9.63	71.25±10.98	-9.252	.000
F		4.177		
p		.025		
Post-Hoc	VSREG>CG, REG>CG			

<sup>a</sup>Mean(%)±SD

VSREG: Vibration stimulus resistance exercise group

REG: Resistance exercise group

CG: Control group

IH: involve Hamstring

IV. 고찰

4. 정적균형능력의 변화

1) 눈을 뜬 상태 시 동요거리의 비교

집단 내 눈을 뜬 상태 시 동요거리의 비교에서 진동자극을 이용한 저항운동군, 저항운동군, 대조군에서 운동치료 전과 후에 유의한 감소를 보였다( $p < .05$ ). 각 그룹의 운동치료 전-후 차이 값에 대한 그룹 간 동요거리의 비교는 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ )(Table 5).

**Table 5.** Comparison of length between pre and post value for the three groups at eyes open

Group	Pre	Post	t	p
VSREG	12.00±2.68 <sup>a</sup>	9.54±2.16	2.446	.034
REG	12.28±3.66	10.00±2.11	3.793	.004
CG	12.70±1.48	11.59±1.63	2.770	.018
F		2.459		
P		.102		

<sup>a</sup>Mean(cm)±SD

VSREG: Vibration stimulus resistance exercise group

REG: Resistance exercise group

CG: Control group

2) 눈을 감은 상태 시 동요거리의 비교

집단내 눈을 감은 상태 시 동요거리의 비교에서 운동치료 전과 후에 유의한 감소를 보였다( $p < .05$ ). 각 그룹의 눈을 감은 상태 시 동요거리의 변화는 유의한 차이가 있었고( $p < .05$ ), 사후검정을 실시한 결과 진동자극을 이용한 저항운동군과 대조군, 저항운동군과 대조군에서만 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ )(Table 6).

**Table 6.** Comparison of length between pre and post value for the three groups at eyes closed

Group	Pre	Post	t	p
VSREG	18.00±1.67 <sup>a</sup>	10.63±1.50	14.455	.000
REG	17.70±1.47	11.74±1.86	9.246	.000
CG	17.49±2.36	15.08±2.39	6.632	.000
F		24.371		
p		.000		
Post-Hoc		VSREG>CG, REG>CG		

<sup>a</sup>Mean(cm)±SD

VSREG: vibration stimulus resistance exercise group

REG: Resistance exercise group

CG: Control group

앞십자인대 재건술의 일차적인 목적은 무릎관절의 안정성 회복이며, 일상생활 활동과 고강도 스포츠 활동으로의 조귀 복귀 여부가 치료에 대한 성공의 지표가 되고 있다(조우신 등, 2005; Kvist, 2004). 수술 후 일상생활 활동 복귀의 평가는 근력이 수술 전의 상태로 회복될 수 있느냐에 달려 있다고 볼 수 있고(Atkinson 등, 2010), 재활의 1차적인 목표는 넙다리네갈래근 근력의 회복이 중요하다(Ryan 등, 1991).

앞십자인대 재건술 후 재활운동에 따른 근력의 효과를 살펴보면 Konishi 등(2011)은 앞십자인대 재건을 시행한 운동선수에게 닫힌사슬운동 프로그램 적용 후 폼근의 등속성 근기능이 유의하게 증가하였다고 보고하였고, Karasel 등(2010)의 연구에서도 앞십자인대 재건술 후 수정된 가속재활 프로그램 적용 후 60°/sec에서 통계학적으로 유의한 차이를 보고하였다.

이학송과 임인수(2009)의 앞십자인대 수술 환자 20명을 대상으로 실시한 재활 참여 군과 자가 운동군의 최대 근력 검사에서 재활참여군은 각속도 60°/sec에서 사전 평가에 비해 신근이 74% 증가하였고, 자가 운동군은 37% 증가하였고 180°/sec에서는 재활참여군은 62%로 증가, 자가 운동군은 28% 증가 하였다.

선행 연구와 같이 초기 재활의 중요성이 강조되고 있고, 초기재활운동 중 무릎관절 근력 향상을 위한 다양한 재활프로그램 적용이 시도 되고 있다. 본 연구는 앞십자인대 재건술 후 2주 후 진동자극을 이용한 저항운동을 실시한 결과 환측 넙다리네갈래근 근력의 변화는 운동치료 전과 후에 진동자극을 이용한 저항운동군 71.18±12.09%에서 189.00±26.75%, 저항운동군은 75.27±13.33%에서 163.82±12.36%, 대조군은 77.09±20.29%에서 111.00±24.35%로 통계학적으로 유의한 증가를 보였다. 그룹 간 비교에서 진동자극을 이용한 저항운동군과 대조군, 저항운동군과 대조군에서 통계학적 유의한 차이를 보였으며, 근력 향상은 진동자극을 이용한 저항운동군에서 가장 긍정적인 효과를 보였다.

환측 뒤넙다리근 근력의 변화는 운동치료 전과 후에 진동자극을 이용한 저항운동군 43.82±12.09%에서 82.27±17.29%, 저항운동군은 46.18±12.86%에서 75.91±21.55%, 대조군은 48.83±9.63%에서 71.25±10.98%로 통계학적으로 유의한 증가를 보였고, 그룹간의 비교에서 진동자극을 이용한 저항운동군과 대조군, 저항운동군과 대조군에서 통계학적으로 유의한 증가를 보였고, 근력의 향상은 진동자극을 이용한 저항운동군이 근력

배창환 등. 진동자극을 이용한 저항운동이 앞십자인대 재건술 후 무릎관절 근력과 균형에 미치는 영향

향상에 가장 긍정적인 효과를 보였다.

전신진동 운동을 통한 근력의 효과를 본 연구에서 대상자는 달랐으나 근력의 증가 효과를 본 연구에서 Ebid 등(2012)은 화상 환자를 대상으로 전신진동 운동을 적용하여 그 효과를 입증하였고, Roelants 등(2004)도 노인 여성을 대상으로 전신진동 운동 시 근력 향상에 효과적인 운동으로 보고하였다.

이는 Fu 등(2013)의 연구에서 앞십자인대 재건술 후 초기 전신진동치료가 신경-근육에 미치는 영향에서 전신진동치료(WBVT)그룹에서 환측 넓다리네갈래근의 치료 전과 후의 근력 비교에서 60°/sec에서 초기 근력이 79.4±30.4Nm에서 139.7±32.4Nm, 180°/sec에서 초기 근력이 55.8±27.9Nm에서 98.9±22.4Nm, 300°/sec에서 초기 근력이 39.2±17.3Nm에서 65.5±15.7Nm로 모두 향상 되었으며 그룹 간 비교에서 전신진동치료가 더 높은 근력회복을 보였다고 보고한 연구와 비슷한 결과를 보였고, 환측 넓다리뒤근육의 치료 전과 후의 비교에서 60°/sec에서 초기 근력이 67.2±25.9N.m에서 92.4±23.1 N.m, 180°/sec에서 초기 근력이 53.7±18.9 N.m에서 71.6± 16.2N.m, 300°/sec에서 초기 근력이 35.0±18.6 Nm에서 58.6±18.0Nm으로 모두 향상 되었으며 그룹 간 비교에서 60°/sec 와 300°/sec에서 전신진동치료가 더 높은 근력회복을 보였다고 보고한 연구 결과와 유사 하였다.

이는 김장규와 장지훈(2012)의 연구에서 앞십자인대 재건술 후 근력회복을 위해 초기에 운동재활프로그램을 적용하는 것이 효과적이라고 보고 하였고, 전매희와 정현(2013)의 연구 결과에서도 앞십자인대 재건술 후 초기 재활운동 프로그램 적용 시 운동군, 비운동군 집단 간 유의한 차이를 나타내었고, 운동군은 수술 전 보다 근력이 향상되었으며, 비운동군의 경우 근력이 낮아졌다.

이러한 결과는 재활 초기 훈련에 등척성 훈련이 많으면 근신경계에 긍정적인 영향을 미치며, 근수축으로 지근 및 속근 섬유에 발달이 근력향상에 도움이 되고 (Risberg 등, 1999), 또한 Pollock 등(2011)은 근육이나 힘줄에 진동자극을 줌으로써 들 신경 경로에 영향을 미치고, Kasai 등(1992)은 진동자극으로 발생한 근방추 수용기의 활성화는 직접적으로 진동자극을 받은 부위뿐만 아니라 주변의 근육에 까지도 영향을 줌으로써 근력 향상에 긍정적인 영향을 준 것으로 생각된다.

고유수용성 감각운동은 손상된 운동감각을 회복할 수 있기 때문에 재활 초기 단계에서 가능한 빨리 시작하여 그 기능을 회복시켜야 한다고 보고하였다 (Hoffman과 Payne, 1995). 최윤식과 신윤아(2012)의 연

구에서 재활 운동을 실시한 후 균형능력의 변화는 측정 기간에 따라 유의한 차이가 나타났으며, 훈련 전과 후에도 균형능력이 통계학적으로 유의하게 증가한 것으로 보고 하였고, Reider 등(2003)도 앞십자인대 재건술 후 재활운동을 통해 6개월간 고유수용성 감각기능을 평가한 결과 건축과 환측의 고유수용성 감각기능이 유의하게 향상되었다고 보고하였다.

본 연구에서는 앞십자인대 재건술 후 운동치료 전과 6주 후의 결과에서 눈을 뜬 상태에서의 동요거리 비교는 선행 연구와 같이 통계학적으로 유의한 감소를 볼 수 있었지만, 그룹 간 동요거리의 비교에서는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

Moezy 등(2008)은 앞십자인대 재건술 후 전신 진동 자극 훈련과 보전적 훈련이 무릎관절 고유수용성 감각과 자세 안정성에 대한 연구에서 전신진동 훈련은 눈을 뜬 상태에서의 전체 안정성 지수, 앞 뒤 안정성 지표, 안쪽 바깥쪽 안정성 지수에서 유의한 감소를 보였고, 대조군에서는 전체 안정성 지수에서 유의한 감소를 보였다. 이는 본 연구의 결과와 유사한 결과를 보였지만, 훈련 방법에 따른 그룹 간 차이에서는 통계학적으로 유의한 차이는 없었다. 이는 균형감각은 시각계(visual system), 전정계(vestibular system), 체성감각계(somatosensation)의 영향을 받고 있으며, 체성감각계와 전정계보다 시각적인 면이 앞십자인대 재건술의 자세 안정성에 영향을 미친 것으로 생각된다.

눈을 감은 상태 시 동요거리의 변화는 운동치료 전과 후에 통계학적으로 유의한 차이가 있었고, 그룹 간에서는 진동자극을 이용한 저항운동군 대조군과 저항운동군과 대조군에서만 통계학적으로 유의한 감소를 가졌다.

Rees 등(2009)은 70세 이상의 남녀 노인을 대상으로 한 연구에서 전신진동 운동 후 한 발 서기 시간이 유의하게 증가되었으며, Von Strengel 등(2012)의 연구에서도 폐경기 여성을 대상으로 전신진동 운동이 넘어짐 지수에 유의한 감소를 보였다고 보고하였다.

이러한 효과의 전신 진동 저항운동은 알파 운동 뉴런의 비율이 높았고, 감각의 역치도 낮아서 근육 반응 시간이 짧았고(Andersen 등, 2006), 내림 경로(descending pathway)를 통해 운동단위 활동성이 증가하면서 운동단위 흥분이 강화된 결과이다(Majewski 등, 2006). 이는 앞십자인대 재건술 후 기계적수용기의 되먹임(feedback)을 잃거나 신경-근육 흥분성이 감소될 수 있고, 이러한 기계적 수용기의 활성화를 위한 진동 자극 저항운동은 근육 활동의 증가와 신경 적응의 향상으로 정적균형 능력 향상에 효과적인 치료로 생각된다.

**V. 결 론**

본 연구는 앞십자인대 재건술 후 진동자극 저항운동이 무릎관절 근력과 균형 영향을 알아보기 위해 실시하였다.

1. 운동치료 전과 후에 진동자극을 이용한 저항운동과 저항운동군 및 대조군은 무릎관절 근력의 변화에서 통계학적으로 유의하게 향상되었고( $p < .05$ ), 그룹 간 결과에서 진동자극을 이용한 저항운동군과 대조군, 저항운동군과 대조군에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ ).
2. 정적균형능력의 변화에서는 눈을 뜬 상태 시 동요거리의 비교에서 운동치료 전-후의 결과에서 통계학적으로 유의한 감소를 보였고( $p < .05$ ), 그룹 간 결과에서 통계학적으로 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ ).
3. 눈을 감은 상태 시 동요거리의 비교에서 운동치료 전-후의 결과에서 진동자극을 이용한 저항운동과 저항운동군 및 대조군은 통계학적으로 유의한 감소를 보였고( $p < .05$ ), 그룹 간 결과에서 진동자극을 이용한 저항운동군과 대조군, 저항운동군과 대조군에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ ).

이상의 결과를 바탕으로 앞십자인대 재건술 환자의 근력과 균형 능력의 향상을 위한 운동 치료 프로그램에 진동자극을 이용한 저항운동을 병행한다면 약화된 근력과 소실된 균형능력을 보다 빠르게 회복시켰다. 또한 앞십자인대 재건술을 시행한 환자의 치료목표인 기능적 회복을 위한 과정을 앞당겨 조기 일상생활의 복귀를 기대 할 수 있을 것이다.

**참고문헌**

김귀현. 앞십자인대 수술 후 4주간의 재활운동이 슬관절 고유수용감각에 미치는 영향. 석사학위 청구논문. 한국체육대학교 대학원. 2004

김려섭. 슬관절. 2007. 서울. 최신의학사: 152-153.

김장규, 장지훈. 전방십자인대 재건술 후 운동재활프로그램 적용시점에 따른 슬관절 근기능의 회복 차이. 한국체육과학회지. 2012;21(2):1045-1058.

김재영. 스쿼트 자세에 따른 전신진동운동이 슬관절의 등속성 근 기능과 점프 수행력에 미치는 효과. 석

사학위 청구논문. 고려대학교 대학원. 2013.

배창환, 조성현, 황보각. 전방십자인대 재건술 환자의 운동프로그램 참여 시기에 따른 등척성 근기능 비교. 대한물리의학회지. 2011;6(4):455-464.

이학송, 임인수. 전방십자인대 재건술. 대한슬관절학회지. 2009;23(2):61-68.

이재식. 대한 축구선수의 슬관절 굴신에 대한 등속성 근력분석. 한국체육학회지. 1994;33(3):3368-3374.

장영우. 전방십자인대 재건술 후 단기간의 등속 재활운동이 대퇴부 근 기능에 미치는 효과. 한국체육과학회지. 2013;22(3):1141-1151.

진행미, 정현. 전방십자인대 재건술 후 초기재활운동프로그램이 무릎관절 근기능에 미치는 영향. 한국여성체육학회지. 2006;20(2):55-66.

전매희, 정현. 유도선수의 슬관절 전방십자인대 부상 후, 재건술과 초기재활프로그램 적용 시 효과. 대한무도학회지. 2013;15(1):13-23.

조우신, 김민영, 이근춘 등. 슬관절의 스포츠 손상. 한국체육학회지. 2005;23(1):24-29.

최윤식, 신윤아. 이식건 종류에 따른 전방십자인대 재건술 후 재활운동프로그램 참여가 근기능과 균형능력에 미치는 영향. 한국체육학회지. 2012;51(1):429-440.

Andersen LL, Magnusson SP, Nielsen M, et al. Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: implications for rehabilitation. Phys Ther. 2006;86(5):683-697.

Atkinson HD, Laver JM, Sharp E. (vi) Physiotherapy and rehabilitation following soft-tissue surgery of the knee. Orthop Trauma. 2010;24(2):129-138.

Beasley LS, Weiland DE, Vidal AF, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction : A literature review of the anatomy, biomechanics, surgical considerations, and clinical outcomes. Oper Tech Orthop. 2005;15(1):5-19.

Bosco C, Colli R, Intorini E, et al. Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. Clinical Physiology-Oxford. 1999;19:183-187.

배창환 등. 진동자극을 이용한 저항운동이 앞십자인대 재건술 후 무릎관절 근력과 균형에 미치는 영향

- Brotzman SB, Manske RC. *Clinical Orthopaedic Rehabilitation: An Evidence-Based Approach*. Elsevier Mosby. 2011;211-245.
- Cormie P, Deane RS, Triplett NT, et al. Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power. *J Strength Cond Res*. 2006;20(2):257-261.
- Drouin JM, Valovich-McLeod TC, Shultz SJ, et al. Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91(1):22-29.
- Ebid AA, Ahmed MT, Mahmoud Eid M, et al. Effect of whole body vibration on leg muscle strength after healed burns: A randomized controlled trial. *Burns*. 2012;38(7):1019-1026.
- Fu CLA, Yung SHP, Law KYB, et al. The effect of early whole-body vibration therapy on neuromuscular control after anterior cruciate ligament reconstruction a randomized controlled trial. *Am J Sports Med*. 2013; 41(4):804-814.
- Hoffman M, Payne VG. The effects of proprioceptive ankle disk training on healthy subjects. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1995;21(2):90-93.
- Jacobs PL, Burns P. Acute enhancement of lower-extremity dynamic strength and flexibility with whole-body vibration. *J Strength Cond Res*. 2009;23(1):51-57.
- Karasel S, Akpınar B, Gulbahar S, et al. Clinical and functional outcomes and proprioception after a modified accelerated rehabilitation program following anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2010;44(3):220-228.
- Kasai T, Kawanishi M, Yahagi S. The effects of wrist muscle vibration on human voluntary elbow flexion- extension movements. *Exp Brain Res*. 1992;90(1):217-220.
- Konishi Y, Oda T, Tsukazaki S, et al. Relationship between quadriceps femoris muscle volume and muscle torque after anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19(4):641-645.
- Kvist, J. Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury. *Sports Med*. 2004;34(4): 269-280.
- Lebedev MA, Poliakov AV. Analysis of the interference electromyogram of human soleus muscle after exposure to vibration. *Neurophysiology*. 1991;23(1):57.
- Majewski M, Susanne H, Klaus S. Epidemiology of athletic knee injuries: A 10-year study. *The knee*. 2006;13(3):184-188.
- Moezy A, Olyaei G, Hadian M, et al. A comparative study of whole body vibration training and conventional training on knee proprioception and postural stability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med*. 2008;42(5):373-385.
- Pollock RD, Provan S, Martin FC, et al. The effects of whole body vibration on balance, joint position sense and cutaneous sensation. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(12):3069-3077.
- Rees SS, Murphy AJ, Watsford ML. Effects of whole body vibration on postural steadiness in an older population. *J Sci Med Sport*. 2008;12(4): 440-444.
- Reider B, Arcand MA, Diehl LH, et al. Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: J Orthop Surg Res*. 2003;19(1):2-12.
- Risberg MA, Holm I, Tjomsland O, et al. Prospective study of changes in impairments and disabilities after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1999 ;29(7):400.
- Roelants M, Delecluse C, Verschueren SM. Whole body vibration training increases knee extension strength and speed of movement in older women. *J Am Geriatr Soc*. 2004;52(6):901-908.
- Ryan LM, Magidow PS, Duncan PW. Velocity-specific and mode-specific effects of eccentric isokinetic



training of the hamstrings. J Orthop Sports Phys Ther. 1991;13(1):33.

Shaw T, Williams MT, Chipchase LS. Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomised controlled trial. Aust J Physiother. 2005;51(1):9-17.

Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated rehabilitation

after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med. 1990;18(3):292-299.

Von Stengel S, Kemmler W, Mayer S. Effect of whole body vibration exercise on osteoporotic risk factors]. Deutsche Medizinische Wochenschrift. 2009;134(30):1511-1516.