

# 혈류제한 운동이 만성 발목 불안정성을 가진 성인의 발목 근력 및 균형능력에 미치는 영향

연강미<sup>1</sup> · 이효정<sup>2‡</sup>

<sup>1</sup>한국교통대학교 일반대학원 물리치료학과 석사과정 학생, <sup>2‡</sup>한국교통대학교 물리치료학과 교수

## Effects of Blood Flow Restriction Exercise on Ankle Strength and Balance Ability in Adults with Chronic Ankle Instability

Gang-Mi Youn, PT<sup>1</sup> · Hyo-Jeong Lee, PT, Ph.D<sup>2‡</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Physical Therapy, Graduate School of Korea National University of Transportation, MS-Student

<sup>2‡</sup>Dept. of Physical Therapy, Korea National University of Transportation, Professor

### Abstract

**Purpose** : This study aimed to investigate the effect of blood flow restriction exercise on ankle muscle strength and balance ability to achieve maximum efficiency with the same exercise intensity and time.

**Methods** : Twenty-six adults are randomly assigned to experimental group (n=13) and comparison group (n=13). The experimental group performed ankle joint strength exercises with blood flow restriction applied while the comparison group performed ankle joint strength exercises without blood flow restriction applied three times a week for four weeks. The digital muscle measurement, Y-balance test, and Cumberland ankle instability tool were used to evaluate the subject's muscle strength, dynamic balance, and ankle instability index before and after the intervention.

**Results** : In within-group comparison muscle strength, all the two groups showed significant improvements post intervention ( $p < .05$ ). In between-group comparison, there was significant difference in the change of dorsiflexion, eversion strength pre and post intervention ( $p < .05$ ). but plantarflexion was no significant difference between pre and post intervention in the group comparison ( $p > .05$ ). In within-group comparison dynamic balance, all the two groups showed significant improvements post intervention ( $p < .05$ ). In between-group comparison, there was no significant difference in the change of Y-balance score pre and post intervention ( $p > .05$ ). In within-group comparison ankle instability index, all the two groups showed significant improvements post intervention ( $p < .05$ ). In between-group comparison, there was no significant difference in the change of CAIT score pre and post intervention ( $p > .05$ ).

**Conclusion** : The results of this study show that ankle joint strength exercise improved the strength and balance ability of those complaining of chronic ankle instability, and ankle joint strength exercise applied with blood flow restriction was more effective in dorsiflexion and eversion strength exercise than ankle joint strength exercise without blood flow restriction.

**Key Words** : ankle joint strength exercise, balance, blood flow restriction exercise, chronic ankle instability, muscle strength

‡ 교신저자 : 이효정, leehj@ut.ac.kr

제출일 : 2023년 1월 14일 | 수정일 : 2023년 2월 13일 | 게재승인일 : 2023년 2월 17일

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 필요성

발목관절의 일차적인 기능은 신체의 전진을 제공하고, 보행 시 충격을 흡수하는 것이며, 가장 손상을 많이 받는 관절 중의 하나로, 운동선수 뿐만 아니라 일반인에게도 손상 빈도가 높은 관절이다(Anandacoomarasamy & Barnsley, 2005). 발목의 손상을 경험한 3명 중 1명이 반복적인 발목 손상을 경험하고, 이로 인해 만성 발목 불안정성으로 이어지게 되며, 높은 재발율을 보인다. 이에 재손상 예방을 위한 치료적 운동이 중요함을 강조하고 있다(Morrison & Kaminski, 2007).

만성 발목 불안정성은 반복적인 발목 염좌, 발목 뺨(ankle giving way), 자가 발목 기능(self-reported ankle function) 저하, 인지적 불안정성(perceived instability) 증가, 발목 통증, 근신경계 기능 감소가 최초 발목 염좌가 발생한 후 12개월 이상 지속되는 경우로 판단하며(Hertel & Corbett, 2019), 만성 발목 불안정성을 가진 사람들은 반복적인 발목관절 안쪽번짐 손상이 발생하고, 한 발로 중심을 잡는 동안 흔들림이 크며, 발목 주변 근육의 약화와 고유수용성 감각이 저하된다고 보고되었다(Bowker 등, 2016). 특히, Bellew 등(2010)은 만성 발목 불안정성이 긴종아리근의 약화와 관련이 있으며, 긴종아리근은 가쪽 발목을 지지하는 중요한 근육임과 동시에 발목의 동적 안정성 증가를 위한 운동 프로그램 시 중점을 두는 근육이고, 긴종아리근의 약화 시 발목의 동적 균형이 저하된다고 하였다.

만성 발목 불안정성의 중재방법으로 근력운동, 균형운동, 복합운동, 관절 가동범위 운동, 저항운동, 연조직 가동술, 수동적 종아리 스트레칭 및 보조기가 사용된다고 보고되었으며(Kosik 등, 2017), 이 중 근력강화 운동은 체중을 이용한 등장성 저항운동으로 충분히 근력을 강화시키고, 신경근 기능을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 시간과 장소의 구애 없이 수행할 수 있다(Newton 등, 2002). 근력강화 운동 중 혈류제한 운동(blood flow restriction; BFR)은 운동을 수행하는 부위의 혈관을 탄성 밴드나 무릎 램프로 감싸 주어 혈관을 일시적으로 좁게 만들어 근력 및 근지구력, 근육의 크기를 증가시키는 방

법이다(Takarada 등, 2002). 대부분의 선행연구에서 혈류제한이 없는 저항도 저항운동보다 혈류제한을 통한 저항도 저항운동이 유용한 것으로 나타났으며(Vieir 등, 2013), 1 RM의 20~40 %에서의 혈류제한을 동반한 근력운동은 혈류제한을 동반하지 않은 70 % 강도에서 운동효과와 유사한 근비대가 나타났다. 다수의 선행연구들을 통해 입증된 혈류제한 운동은 저항도 운동임에도 불구하고, 적근과 백근을 동시에 동원하여 발달시킴으로써, 고강도 저항운동과 유사한 효과를 발휘한다(Lixandrao 등, 2018).

앞십자인대 수술을 받은 환자에게 적용한 혈류제한 운동의 효과를 비교한 체계적 고찰 및 메타 분석 결과 BFR이 수술 후 넵다리네갈래근 위축의 양을 크게 줄이는 데 도움이 되는 것으로 나타났으며(Wengle 등, 2022), 건강한 성인에게 혈류제한을 적용한 상지훈련과 혈류제한을 적용하지 않은 상지훈련을 비교한 연구에서 혈류제한을 적용한 훈련이 어깨 근력과 손의 쥐기 기능을 증가시키는 것으로 나타났다(Bowman 등, 2020).

이와 같이 현재 다른 관절에 대한 혈류제한 운동의 효과는 꾸준히 연구되어 왔으나 발목관절에서의 효과에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 발목의 근력 및 균형능력에 동일한 운동 강도와 시간으로 최대 운동 효과를 내기 위해 혈류제한 운동을 적용하여 발목 근력 및 균형능력에 미치는 영향을 보려고 한다.

### 2. 연구의 목적

본 연구는 만성 발목 불안정성을 가진 자를 대상으로 혈류제한 유, 무에 따른 발목관절 근력운동의 효과에 대해 발목 근력 및 동적균형, 발목 불안정 지수를 비교하고자 하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상

본 연구의 대상은 만성 발목 불안정성을 호소하는 자 중 컴버랜드 발목 불안정성 지수(Hiller 등, 2006)를 이용

하여 총점 30점 만점에 24점 이하를 받은 자로 선정하였다. 대상자 선정 기준은 컴버랜드 발목 불안정성 지수 점수 24/30 이하인 자, 연구 대상자 본인이 연구 참여에 동의한 자, 최소한 12개월 이전에 최초의 발목 염좌 병력이 있는 자(Gribble 등, 2013)로 하였으며, 제외 기준은 BMI(신체질량지수) 25 kg/m<sup>2</sup> 이상인 자, 정형외과적인 질환 및 다른 질환들로 인해 하지의 통증을 호소하는 자, 어지러움증 및 현기증이 있는 자, 지난 6개월 동안 정형외과적 또는 기타 수술의 과거력이 없는 자, 고혈압 약물을 복용하거나 혈전색전증 위험이 있는 자(Kataoka 등, 2022), 엉덩관절 골절 병력, 골반 또는 넓다리뼈의 정맥류 진단, 심부정맥 혈전증 또는 폐색전증이 있는 자로 설정하였다.

## 2. 연구 도구

### 1) 근력

본 연구에서는 발등굽힘, 발바닥굽힘, 가쪽번짐에 대하여 디지털근력계(Commander Echo, JTECH Medical, USA)를 이용하여 발목 근력을 측정하였다. 각 근육의 최대 등척성 수축 시 나타나는 압력을 측정하였으며, 1회 연습 후 3회를 측정하여 측정값의 평균을 기록하였다. 근 피로를 배제하기 위해 각 측정 간 15초 동안 휴식을 취하였다. 본 근력계의 신뢰도는 급내 상관계수 (intraclass correlation coefficients; ICC)가 .62-.95이다 (Cronström 등, 2019).

### 2) 동적균형

하지의 동적균형을 측정하기 위한 검사로 Y-balance 검사(functional movement systems)는 앞쪽, 뒤안쪽, 뒤바깥쪽의 세 방향으로 매트를 이용하여 측정하였다. 대상자들은 중앙선에서 균형을 유지하면서 반대측 발로 각 방향의 선을 따라 최대한 멀리 뻗는 지점까지의 거리를 cm 단위로 측정하였다(Moon & Kim, 2022). 각 방향에 대해 1~4회 연습을 실시하여 참가자가 편안하게 과제를 수행할 수 있게 하였으며, 검사 중 넘어진다거나 다시 제자리로 돌아오지 못한 경우 또는 뻗는 발에 체중을 지탱하는 동작들이 나올 경우 다시 실시하였다(Mahato 등, 2019). 테스트를 위해 참가자는 한 방향으로 3회 연속 시

도하였으며, 각 도달 방향에 대한 최대 거리(cm)가 기록되었고, 참가자는 다음 방향으로 뻗기 전에 30초간 휴식을 취하였다. 최대 도달 범위의 평균을 참가자의 다리 길이로 나눈 값에 100을 곱하여 이렇게 계산된 값은 통계 분석에 사용되었다(Hall 등, 2015). 본 검사의 신뢰도는 .84-.94이다(Powden 등, 2019; Shaffer 등, 2013).

### 3) 발목 불안정 지수

발목 불안정성을 평가하는 도구로써 컴버랜드 발목 불안정성 지수(CAIT)는 발목 불안정성의 정도를 점수화시킨 것이다. 이 평가도구는 발목 통증 여부와 일상생활 활동에서 발목의 불안정성 여부 등의 주관적인 느낌을 평가하는 9개의 문항으로 구성되어 있으며, 30점 중 28점 이상은 정상, 27점 이하는 기능적 발목 불안정성의 잠재적 단계, 24점 이하는 기능적 발목 불안정성으로 정의한다(Hiller 등, 2006). 설문은 왼쪽, 오른쪽 발목 모두를 작성하고 점수가 낮은 쪽을 불안정하다고 판단하였다. Jeong 등(2022)의 연구에 의하면, 본 도구의 검사-재검사 간 신뢰도는 ICC=.98으로 높은 신뢰도 및 타당도를 보였다.

## 3. 중재 방법

실험군은 혈류제한을 위해 커프(Blood flow restriction bands, Yancheng Mifan Technology Co, China)를 이용하였으며, 발목관절의 근력운동으로 선행연구를 바탕으로 4주간 주 3회 실시하였다(Lee 등, 2019). 발목관절 근력 운동은 스트레칭을 포함한 준비운동을 3분간 실시하였으며, 본 운동은 선 자세에서 5 cm의 블록 위에 올라가 발목 발등굽힘(dorsiflexion)과 발바닥굽힘(plantarflexion)을 5초간 유지하는 운동으로 구성하였다(Lee 등, 2017)(Table 1). 휴식 없이 10회를 진행한 후에 세트 간 휴식 시간을 20초로 하여 실시하였다. 1~2주차에는 3세트, 3~4주차 5세트로 강도가 증가하도록 설정하였고, 마무리 운동으로 3분간 스트레칭을 실시하였다(Lee 등, 2019). 총 운동시간은 1~2주차 15분, 3~4주차 20분을 넘지 않도록 하였다. 3분간 스트레칭을 시행한 후 혈류제한을 위해 넓다리뼈의 몸쪽 1/3지점에 커프를 착용한 후 본 운동을 실시하였으며, 세트 간 휴식시간에 커프의 강

도는 유지하였다. 혈류제한의 강도는 대상자의 신체조건을 고려하여 180~240 mmHg으로 다양하게 적용하였다 (Kim & Huh, 2017).

대조군은 실험군과 동일한 운동프로그램을 적용하였으며 혈류제한을 위한 커프는 사용하지 않았다.

Table 1. Exercise program of experimental group and comparison group

Program		Application intensity and time			
Warm-up	Stretching	Supine dorsiflexion, plantarflexion 10s	3 minutes		
Ankle exercise	Heel raising	Standing dorsiflexion 10s	1set 10s 20s break	1~2 weeks 3~4 weeks	3set 5set
	Heel standing	Standing plantarflexion 10s	1set 10s 20s break	1~2 weeks 3~4 weeks	3set 5set
Warm-down	Stretching	Supine dorsiflexion, plantarflexion 10s	3 minutes		

#### 4. 연구 절차

본 연구에서는 대상자 수 산출을 위해 G-Power Ver. 3.1.3 프로그램을 이용하여 산출하였다. 군당 할당 비율 1:1, 유의 수준 .05, 검정력 .95로 설정하였고, 효과크기 .55로 계산 한 결과 총 대상자 수는 22명(실험군 11명, 대조군 11명)으로 확인되었으며, 탈락률을 고려하여 26명을 목표 연구 참여자로 선정하였다. 대상자들에게 O와 X가 적힌 메모지 중 한 장을 뽑도록 하여 무작위 배정 후 2022년 9월 05일부터 10월 02일까지 총 4주간 주 3회, 1일 1회, 1~2주차 15분, 3~4주차에는 2세트 증가하여 20분 운동을 수행하였다(Lee 등, 2019). 예비 연구 대상자를 대상으로 연구에 사용되는 CAIT 점수 및 BMI를 측정 후 선정기준과 제외기준에 부합하는 자로 연구 대상자를 설정하였다. 본 연구에 대한 설명을 진행하고 연구 참여에 대한 동의를 얻은 후 실험군과 대조군 두 집단으로 연구 대상자를 배정하였다. 본 연구에서는 근력, Y-balance, CAIT를 중재 전·후 동일한 측정도구를 이용하여 측정하였다. 연구 도중 실험군에서 2명, 대조군에서 3명이 코로나 확진 및 발목부상으로 제외되었다. 실험군은 혈류제한을 적용한 발목관절 근력운동, 대조군은 혈류제한을 적용하지 않은 발목관절 근력운동을 시행하

였고 두 집단 모두 물리치료가 직접 평가, 중재하였다. 본 연구는 한국교통대학교 기관생명윤리심의의 승인을 받은 후 진행되었다[승인번호 KNUT IRB 2022-62].

#### 5. 자료 처리

본 연구의 모든 자료 처리는 SPSS ver. 22를 이용하였다. Shapiro-Wilk 검사를 통해 정규성 검정을 시행하고, 대상자의 일반적인 특성은 카이제곱 검정(chi-squared test)과 독립표본 t-검정(independent t-test)을 통해 동질성 검정을 시행하였다. 종속변수 항목 중 가쪽변집 근력, Y-balance와 CAIT는 정규성 분포를 따르지 않아 비모수 검정을 시행하였으며, 그 외에 모든 항목은 모수 검정을 실시하였다. 혈류제한 유무에 따른 각 군의 중재 전·후 근력과 균형을 비교하기 위해 대응표본 t-검정(paired t-test)과 윌콕슨 부호순위 검정(wilcoxon signed-ranks test)을 실시하였으며, 두 군간 중재 전·후 변화의 차이를 보기 위해 독립표본 t-검정(independent t-test)과 맨-휘트니 U 검정(mann-whitney u-test)을 실시하였다. 자료의 모든 통계학적 유의수준은 p<.05로 하였다.

### III. 결과

#### 1. 연구 대상자의 특성

연구 대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 2). 두 군 사이에 성별, 연령, 체중, 신장, BMI, 불안정한 발목에서 군간 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않아 일반적 특성에서 동질성이 확인되었다.

Table 2. General characteristic of all the subjects

(n= 21)

	E (n=11)	C (n=10)	$z/t$	$p$
Sex (male/female)	4/7	4/6	.02	1.000
Age (years)	24.63±7.07	23.10±3.63	.61	.545
Weight (kg)	63.57±9.80	58.70±8.01	.23	.230
Height (cm)	166.81±7.76	166.00±6.59	.25	.798
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.64±2.18	21.26±2.02	.49	.150
CAI (right/left)	5/6	6/4	.44	.670

E; ankle training with blood flow restriction, C; ankle training without blood flow restriction, CAI; chronic ankle instability

#### 2. 근력의 변화

균형 중 발등굽힘 근력은 실험군의 중재 전 평균 30.25±6.54 N이고, 중재 후 평균은 72.25±14.36 N으로 중재 전·후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 대조군은 중재 전 27.69±9.26 N이고, 중재 후 53.67±16.74 N으로 중재 전·후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 실험군과 대조군의 군간 평균 변화량 차이를 비교해보면 실험군은 42.00±13.53 N, 대조군은 25.98±12.35 N의 변화량 차이를 보여 통계적으로 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 발바닥 굽힘 근력은 실험군의 중재 전 평균 43.53±12.01 N이고, 중재 후 평균은 75.90±23.28 N으로 중재 전·후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 대조군은 중재 전 41.86±21.88 N이고, 중재 후 70.51±27.53 N으로 중재 전·후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 실험군과 대조군의 군간 평균 변화량 차이를 비교해보면 실험군은 32.36±16.80 N, 대조군은 28.65±14.57 N의 변화량 차이를 보였으나 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p>.05$ ). 가쪽변짐 근력은 실험군의 중재 전 평균 28.10±6.95 N이고, 중재 후 평균은 58.15±14.20 N으로 중재 전·후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 대조군은 중재 전 34.67±18.12 N이고, 중재 후 47.35±18.66 N으로 중재 전·후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 실험군과 대조군의 군간 평균 변화량 차이를 비교해보면 실험군은 30.05±13.96 N, 대조군은

12.68±4.99 N의 변화량 차이를 보였고 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p<.05$ )(Table 3).

#### 3. 동적균형의 변화

동적균형을 측정하기 위한 Y-balance 값은 실험군의 중재 전 평균 74.26±10.79 %이고, 중재 후 평균은 89.05±10.29 %으로 중재 전·후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 대조군은 중재 전 72.42±11.88 %이고, 중재 후 83.00±9.08 %으로 중재 전·후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 실험군과 대조군의 군간 평균 변화량 차이를 비교해보면 실험군은 14.79±1.97 %, 대조군은 10.57±1.28 %의 변화량 차이를 보였으나 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p>.05$ )(Table 3).

#### 4. 발목 불안정 지수의 변화

발목 불안정 지수를 측정한 CAIT는 실험군의 중재 전 평균 점수 19.00±6.73 점이고, 중재 후 평균 점수 25.54±3.07 점으로 중재 전·후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 대조군은 중재 전 18.70±4.83 점이고, 중재 후 22.00±5.05 점으로 중재 전·후에 유의한 차이가 나타났다( $p<.05$ ). 실험군과 대조군의 군간 평균 변화량 차이를 비교해보면 실험군은 6.72±6.16 점, 대조군은 3.30±2.21 점

Table 3. The comparison of variables between groups (n= 21)

Group		E (n=11)	C (n=10)	t/Z	p
Variable		Mean±SD	Mean±SD		
Dorsi flexion (N)	Pre	30.25±6.54	27.69±9.26		
	Post	72.25±14.36	53.67±16.74		
	Post-Pre	42.00±13.53	25.98±12.35	2.82	.010
	t	-10.29	-6.65		
	p	.000	.000		
Muscle strength	Pre	43.53±12.01	41.86±21.88		
	Post	75.90±23.28	70.51±27.53		
	Post-Pre	32.36±16.80	28.65±14.57	.53	.597
	t	-6.38	-6.21		
	p	.000	.000		
Eversion (N)	Pre	28.10±6.95	34.67±18.12		
	Post	58.15±14.20	47.35±18.66		
	Post-Pre	30.05±13.96	12.68±4.99	-3.38	.001
	Z	-2.93	-2.80		
	p	.003	.005		
Dynamic balance	Pre	74.26±10.79	72.42±11.88		
	Post	89.05±10.29	83.00±9.08		
	Post-Pre	14.79±1.97	10.57±1.28	-1.54	.121
	Z	-2.93	-2.80		
	p	.003	.005		
Ankle instability index	Pre	19.00±6.73	18.70±4.83		
	Post	25.54±3.07	22.00±5.05		
	Post-Pre	6.72±6.16	3.30±2.21	-1.31	.188
	Z	-2.93	-2.68		
	p	.003	.007		

E; ankle training with blood flow restriction, C; ankle training without blood flow restriction, CAIT; chronic ankle instability tool

의 변화량 차이를 보였으나 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p>.05)(Table 3).

#### IV. 고찰

본 연구는 발목의 근력 및 균형에 동일한 운동 강도와 시간으로 최대운동 효과를 보기 위해 발목관절 근력운동에 혈류제한을 적용하였을 때의 효과를 확인한 무작위실험연구이다. 연구는 만성 발목 불안정성을 확인한 26명을 대상으로 4주간 주 3회, 15~20분으로 혈류제한을

적용한 발목관절 근력운동군 13명과 혈류제한을 적용하지 않은 발목관절 근력운동군 13명에게 중재를 적용하여 발목 근력 및 균형의 종속변수에서 혈류제한 운동의 영향을 알아보려고 하였다. 본 연구에서 발목 근력과 균형을 평가하기 위한 도구로 도수근력검사계, Y-balance 검사, CAIT를 사용하여 4주 후의 변화를 비교하였다.

만성 발목 불안정성은 낮은 수준의 신체 활동 및 스포츠 참여, 삶의 질 저하, 외상 후 발목 골관절염 발병 위험 증가와 관련이 있으며, 최신 치료의 방향은 고유수용성 감각, 균형, 운동 범위 및 근력의 결핍과 같은 손상을 회복하는 것을 목표로 한다(Khalaj 등, 2020).

만성 발목 불안정성을 가진 성인의 근력과 동적 균형

을 측정된 결과 근력 약화와 균형능력의 소실이 나타났으며(Lee 등, 2020), Hall 등(2018)의 연구에 의하면 만성 발목 불안정성이 있는 39명의 대상자를 균형운동군, 근력운동군, 자전거운동군으로 할당하여 하루 20분, 주 3회, 6주간 중재를 진행한 결과 균형운동군 및 근력운동군에서 발바닥굽힘, 안쪽번짐 근력, 균형 예러 채점 시스템(BESS), SEBT에서 유의미한 향상을 보였다. Seo 등(2021)은 만성 발목 불안정성을 가진 자에게 5주간 신경근 전기자극을 병행한 발목 들어올리기 운동을 진행한 결과 대조군에 비해 정적균형, 동적균형, 자세조절능력 및 근력의 향상을 보였으며, 20명의 뇌졸중 환자에게 1일 100회, 주 5회, 6주간의 발바닥굽힘 운동을 시행한 Lee 등(2017)의 연구에 의하면 중재 후 발바닥굽힘 근력, 보행 속도, 정적 및 동적 균형의 향상을 보였다. Collins 등(2014)의 연구에 따르면 27명의 만성 발목 불안정성을 가진 대상자를 발목 근력운동군과 위약군으로 할당해 7가지의 운동프로그램을 주 3회, 4주간 시행한 결과 근력운동군에서 스타익스크루전 균형 평가(star excursion balance test; SEBT)의 향상을 보고하였으며, Seo(2021)는 플로싱 밴드와 밸런스 운동을 만성 발목 불안정성 환자에게 적용 후 발목관절 각도, 근력, 정적 균형 및 동적 균형, 발목 기능을 평가한 결과 모든 부분에서 유의한 차이를 보였다.

본 연구의 결과는 실험군과 대조군 모두 발등굽힘, 발바닥굽힘, 가쪽번짐 근력이 중재 전·후 유의한 향상을 보였다. 혈류제한 운동이 앞십자인대 재건술 후 넙다리네갈래근 위축 및 근육의 단면적에 미치는 영향을 분석한 체계적 고찰에서는 4건의 연구 중 3건의 연구에서 혈류제한 운동이 넙다리네갈래근 위축을 감소시키고 단면적을 증가시켰다고 보고하였으며(Charles 등, 2020; Iversen 등, 2016; Lambert 등, 2019; Takarada 등, 2002), Gavanda 등(2020)의 건강한 성인에게 6주간의 발목 들어올리기 운동을 진행한 혈류제한 적용군과 비적용군 모두 장딴지근의 근력을 증가시키는 것으로 나타났다. Kataoka 등(2022)의 6주간 저강도 혈류제한 운동군과 고강도 운동군으로 나누어 발목 들어올리기 운동을 시행한 연구 결과 두군 모두 중재 전·후 장딴지근 근력의 향상을 보였으나, 군간 비교에서는 유의한 차이가 나타나지 않아 본 연구의 결과와 일치한다. 본 연구에서 발목

관절 운동에 의해 발등굽힘, 발바닥굽힘 및 가쪽번짐의 근력이 증가한 이유는 발이 고정되어 있는 상태에서 수직적으로 움직이는 Heel raising와 Heel standing 운동은 자세조절 및 기능적 활동의 수행능력을 개선시킨다고 하였다(Seo 등, 2021). 또한 장딴지근을 강화시켜 발바닥굽힘의 등척성 근력을 향상시키며(Lee 등, 2019), 장딴지근의 활성화 시 협력근으로서 앞정강근과 종아리근의 동시수축이 일어나 발등굽힘 및 가쪽번짐 근력의 향상을 보였다고 사료된다. 본 연구와 선행연구의 결과를 바탕으로 혈류제한을 적용한 근력운동은 고강도 운동이 제한적인 노인 및 중년여성, 손상으로 인해 재활운동이 필요한 환자 및 운동선수, 바쁜 현대 사회에서의 운동이 절실히 요구되는 사람들에게 더 효과적인 운동방법을 고안해 제공 할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 결과는 실험군과 대조군 모두 동적균형을 평가한 Y-balance가 중재 전·후 유의한 향상을 보였다. Chae 등(2020)은 Y-balance가 닫힌 운동 사슬 상태로 실시되어 힘의 전달이 무게 중심, 즉 균형을 조절하는 능력에 영향을 미치고, 이로 인해 주동근과 길항근의 동시수축이 나타나 발목관절뿐 아니라 무릎관절과 엉덩관절 근육들의 협응을 통해 동적 자세조절에 영향을 준다고 하였다. 이와 같은 결과는 발목관절 근력운동을 적용하였을 때 자세조절에 필요한 근육들이 서로 협력하고, 근수축 조절을 통해 안정성이 증가하며, 지지면 내에서 몸의 무게 중심을 적절하게 유지 할 수 있게 되어(Behm 등, 2015), 동적 균형이 향상된 것으로 사료된다.

본 연구의 결과 실험군과 대조군 모두 균형능력에 대한 자기기입식 설문조사인 CAIT 점수가 중재 전·후 유의한 향상을 보였다. CAIT 점수는 9개 항목 41개의 문항으로 구성되고, 설문 내용은 통증, 활동성, 방향성, 계단 보행, 외발서기, 점핑, 불안정한 지면, 발목 비틀림, 발목 비틀림의 회복으로 30점 만점으로 24점 이하를 만성 발목 불안정성으로 평가하였으며(Kwon, 2018), 본 연구의 실험 설계 시 CAIT를 만성 발목 불안정성이 있는 대상자를 구분하는 척도로 사용했다. Kim(2012)의 만성 발목 불안정성을 호소하는 47명의 엘리트 선수들을 대상으로 6주간의 기능적 재활운동 후 CAIT 점수와 균형능력을 평가한 연구 결과 CAIT 점수의 향상을 보였으며, 이는 본 연구의 결과와 일치하고, 발목 근력 및 균형능력향상

으로 대상자가 주관적으로 느끼는 발목 불안정성이 감소되었다고 사료된다.

본 연구의 제한점은 연구에 참여한 대상자 수가 중재 전에 설정한 대상자 수보다 적어 연구의 결과를 일반화하기 어렵다는 점과, 본 연구의 중재기간이 4주로 짧아 큰 변화를 기대하기엔 어려운 점, 대상자마다 운동을 수행하는 적극성에 차이가 있었다는 점이다. 또한 향후 안쪽번짐 근력과 정적균형을 확인하기 위한 연구도 필요할 것이다.

### V. 결론

본 연구는 만성 발목 불안정성을 가진 성인 26명을 대상으로 혈류제한을 적용한 발목관절 근력운동을 통해 발목의 근력 및 균형에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 근력은 발등굽힘, 발바닥굽힘, 가쪽번짐에서 실험군과 대조군 모두 중재 전·후에 유의차가 나타났고( $p < .05$ ), 두 군간 비교에서도 발등굽힘, 가쪽번짐에서 중재 전·후에 유의차가 나타났다( $p < .05$ ). 균형능력은 Y-balance, CAIT에서 실험군과 대조군 모두 중재 전·후에 유의차가 나타났다( $p < .05$ ).

본 연구의 결과를 통해 혈류제한 운동을 적용한 발목관절 근력운동이 만성 발목 불안정성을 가진 성인의 근력 및 균형능력 향상에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 특히 혈류제한을 적용한 발목관절 근력운동이 혈류제한을 적용하지 않은 발목관절 근력운동에 비해 발등굽힘, 가쪽번짐 근력에 더 효과적인 중재임을 제안한다. 추후 연구에서는 혈류제한을 적용한 발목관절 근력운동을 장기적으로 적용하였을 때의 효과를 확인하며, 근력운동이 아닌 균형운동을 적용하였을 때의 혈류제한의 효과를 확인하는 연구와 같이 중재 방법과 중재기간을 다양화하여 지속적으로 연구되어야 한다.

### 참고문헌

Anandacoomarasamy A, Barnsley L(2005). Long term

outcomes of inversion ankle injuries. *Br J Sports Med*, 39(3), Printed Online. <http://doi.org/10.1136/bjsm.2004.011676>.

Behm DG, Muehlbauer T, Kibele A, et al(2015). Effects of strength training using unstable surfaces on strength, power and balance performance across the lifespan: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 45(12), 1645-1669. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0384-x>.

Bellew JW, Frilot CF, Busch SC, et al(2010). Facilitating activation of the peroneus longus: electromyographic analysis of exercises consistent with biomechanical function. *J Strength Cond Res*, 24(2), 442-446. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c088bc>.

Bowker S, Terada M, Thomas AC, et al(2016). Neural excitability and joint laxity in chronic ankle instability, coper, and control groups. *J Athl Train*, 51(4), 336-343. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.5.05>.

Bowman EN, Elshaar R, Milligan H, et al(2020). Upper-extremity blood flow restriction: the proximal, distal, and contralateral effects—a randomized controlled trial. *J Shoulder Elbow Surg*, 29(6), 1267-1274. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2020.02.003>.

Chae JS, Choe YW, Kim MK(2020). The effects of proprioceptive exercise combined with cognitive task on the balance and ankle function of chronic ankle instability adults. *J Korean Soc Phys Med*, 15(1), 65-76. <https://doi.org/10.13066/kspm.2020.15.1.65>.

Charles D, White R, Reyes C, et al(2020). A systematic review of the effects of blood flow restriction training on quadriceps muscle atrophy and circumference post ACL reconstruction. *Int J Sports Phys Ther*, 15(6), 882-891. <https://doi.org/10.26603/ijsp20200882>.

Collins CK, Masaracchio M, Cleland JA(2014). The effectiveness of strain counterstrain in the treatment of patients with chronic ankle instability: a randomized clinical trial. *J Man Manip Ther*, 22(3), 119-128. <https://doi.org/10.1179/2042618614Y.0000000069>.

Cronström A, Ageberg E, Franettovich Smith MM, et



- al(2019). Factors affecting knee abduction during weight-bearing activities in individuals with anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther Sport*, 38, 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.04.006>.
- Gavanda S, Isenmann E, Schlöder Y, et al(2020). Low-intensity blood flow restriction calf muscle training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: a randomized controlled trial. *Plos one*, 15(6), Printed Online. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235377>.
- Gribble PA, Delahunt E, Bleakley C, et al(2013). Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the international ankle consortium. *J Orthop Sports Phys Ther*, 43(8), 585-591. <https://doi.org/10.2519/jospt.2013.0303>.
- Hall EA, Chomistek AK, Kingma JJ, et al(2018). Balance-and strength-training protocols to improve chronic ankle instability deficits, part I: assessing clinical outcome measures. *J Athl Train*, 53(6), 568-577. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-385-16>.
- Hall EA, Docherty CL, Simon J, et al(2015). Strength-training protocols to improve deficits in participants with chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *J Athl Train*, 50(1), 36-44. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.3.71>.
- Hertel J, Corbett RO(2019). An updated model of chronic ankle instability. *J Athl Train*, 54(6), 572-588. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-344-18>.
- Hiller CE, Refshauge KM, Bundy AC, et al(2006). The cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Arch Phys Med Rehabil*, 87(9), 1235-1241. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.05.022>.
- Iversen E, Røstad V, Larmo A(2016). Intermittent blood flow restriction does not reduce atrophy following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sport Health Sci*, 5(1), 115-118. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.005>.
- Jeong HS, Chung SH, Lee IJ, et al(2022). Reliability and validity of questionnaires for classification of the functional and mechanical ankle instability. *Korean J Sports Med*, 40(4), 226-233. <https://doi.org/10.5763/kjism.2022.40.4.226>.
- Kataoka R, Vasenina E, Hammert WB, et al(2022). Muscle growth adaptations to high-load training and low-load training with blood flow restriction in calf muscles. *Eur J Appl Physiol*, 122(3), 623-634. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04862-7>.
- Khalaj N, Vicenzino B, Heales LJ, et al(2020). Is chronic ankle instability associated with impaired muscle strength? ankle, knee and hip muscle strength in individuals with chronic ankle instability: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*, 54(14), 839-847. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100070>.
- Kim KS, Huh Y(2017). Seeking appropriate pressure intensity during kaatsu resistance training using pneumatic tourniquet. *J Coach Develop*, 19(1), 64-71.
- Kim TG(2012). Functional evaluation on the effect of rehabilitation exercise in chronic ankle instability for elite athletes. Graduate school of Korea National Sport University, Republic of Korea, Doctoral dissertation.
- Kosik KB, McCann RS, Terada M, et al(2017). Therapeutic interventions for improving self-reported function in patients with chronic ankle instability: a systematic review. *Br J Sports Med*, 51(2), 105-112. <http://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096534>.
- Kwon JY(2018). Influence of tubing and proprioceptive exercise on chronic ankle instability ballet dancer's stability. *Korea J sport Sci*, 27(5), 1367-1379. <https://doi.org/10.35159/kjss.2018.10.27.5.1367>.
- Lambert B, Hedt CA, Jack RA, et al(2019). Blood flow restriction therapy preserves whole limb bone and muscle following ACL reconstruction. *Orthop J Sports Med*, 7(3 suppl2), Printed Online. <https://doi.org/10.1177/2325967119S00196>.
- Lee KJ, Kim YH, Lee SH, et al(2020). Characteristics of the balance ability and isokinetic strength in ankle sprain. *Isokinet Exerc Sci*, 28(3), 239-245.

- <https://doi.org/10.3233/IES-194223>.
- Lee WJ, Lee SA, Kim AR, et al(2019). Comparison of ankle joint exercise and thigh exercise on the isometric strength of the lower limb and balance ability. *J Korean Soc Phys Med*, 14(4), 153-162. <http://doi.org/10.13066/kspm.2019.14.4.153>.
- Lee SM, Cynn HS, Yoon TL, et al(2017). Effects of different heel-raise-lower exercise interventions on the strength of plantarflexion, balance, and gait parameters in stroke survivors. *Physiother Theory Pract*, 33(9), 706-715. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1346024>.
- Lixandrao ME, Ugrinowitsch C, Berton R, et al(2018). Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood-flow restriction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 48(2), 361-378. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>.
- Mahato V, Johnston W, Cunningham P(2019). Scoring performance on the y-balance test. *Lect Notes Comput Sci*, 2019(11680), 281-296. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29249-2\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29249-2_19).
- Moon BH, Kim JW(2022). Effects of floss bands on ankle joint range of motion and balance ability. *Phys Ther Korea*, 29(4), 274-281. <https://doi.org/10.12674/ptk.2022.29.4.274>.
- Morrison KE, Kaminski TW(2007). Foot characteristics in association with inversion ankle injury. *J Athl Train*, 42(1), 135-142.
- Newton RU, Hakkinen K, Hakkinen A, et al(2002). Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Med Sci Sports Exerc*, 34(8), 1367-1375. <https://doi.org/10.1097/00005768-200208000-00020>.
- Powden CJ, Dodds TK, Gabriel EH(2019). The reliability of the star excursion balance test and lower quarter Y-balance test in healthy adults: a systematic review. *Int J Sports Phys Ther*, 14(5), 683-694. <https://doi.org/10.26603/ijspst20190683>.
- Seo JA(2021). Effects of flossing band exercise and balance exercise on patients with chronic ankle instability. Graduate school of Daegu Catholic University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Seo JH, Lee JH, Lee MY(2021). Effect of heel raise exercise with NMES on peroneus longus muscle strength and postural control ability in subjects with functional ankle instability: randomized controlled trial. *J Korean Phys Ther*, 33(1), 28-33. <https://doi.org/10.18857/jkpt.2021.33.1.28>.
- Shaffer SW, Teyhen DS, Lorenson CL, et al(2013). Y-balance test: a reliability study involving multiple raters. *Mil Med*, 178(11), 1264-1270. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-13-00222>.
- Takarada Y, Sato Y, Ishii N(2002). Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol*, 86(4), 308-314. <https://doi.org/10.1007/s00421-001-0561-5>.
- Vieira PJC, Chiappa GR, Umpierre D, et al(2013). Hemodynamic responses to resistance exercise with restricted blood flow in young and older men. *J Strength Cond Res*, 27(8), 2288-2294. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318278f21f>.
- Wengle L, Migliorini F, Leroux T, et al(2022). The effects of blood flow restriction in patients undergoing knee surgery: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med*, 50(10), 2824-2833. <https://doi.org/10.1177/036354652111027296>.