

## 20대의 혈류제한 저항운동이 위팔두갈래근 활성화, 피로도 및 혈액학적 변인에 미치는 영향

정대근 · 강정일 · 박준수<sup>1†</sup>

세한대학교 물리치료학과, <sup>1</sup>세움 바른자세운동센터

### Effect of Blood Flow Restriction Resistance Exercise in Twenties on Biceps Activity, Fatigue and Hemodynamic Variables

Dae-Keun Jeong, PT, PhD · Jeong-Il Kang, PT, PhD · Jun-Su Park, PT, PhD<sup>1†</sup>

Department of Physical Therapy, Sehan University

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Seum Good Posture Fitness Center

Received: October 10 2022 / Revised: October 12 2022 / Accepted: November 11 2022

© 2023 J Korean Soc Phys Med

#### | Abstract |

**PURPOSE:** This study examined the effects of low-intensity resistance exercise combined with blood flow restriction on muscle activity and muscle fatigue to determine if such a combination may be an alternative to high-intensity resistance exercise in maintaining the muscle mass and strength and preventing degenerative loss of skeletal muscle and to provide basic data for presenting the effectiveness of exercise.

**METHODS:** The interventions were provided for five weeks, four sessions a week, once a day, 60 minutes a session to Experimental group I (n = 13), in which low-intensity

resistance exercise was applied by combining blood flow restriction with the biceps curl and experimental group II (n = 12), in which only high-intensity resistance exercise was applied. As a pre-test, the biceps brachii muscle activity and fatigue were measured by surface electromyography, and the hemodynamic variables, such as blood pressure and heart rate, were measured. The post-test was performed identically to the pre-test and compared and analyzed with the pre-test.

**RESULTS:** A significant difference within-group was observed in the biceps brachii muscle activity and fatigue in experimental group I and only in biceps brachii activity in experimental group II. No significant differences were observed between the two groups.

**CONCLUSION:** Since the low-intensity resistance exercise combined with blood flow restriction has similar effects to high-intensity resistance exercise, it is considered an alternative for improving muscle function in groups unable to perform high-intensity resistance exercise.

†Corresponding Author : Jun-Su Park

ppjss4456@naver.com, <http://orcid.org/0000-0003-3946-9335>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Key Words:** Blood flow restriction, High-intensity resistance exercise, Lower-intensity resistance exercise, Muscle activity, Muscle fatigue

## I. 서론

최근 코로나19로 인한 활동저하로 체력이 약화되어 근감소증(sarcopenia)이 질환으로 인식되고 있어 근력 향상을 위한 다각적인 운동방법들이 제안되고 있다[1]. 저항훈련은 근력을 개발하고 근육 비대를 자극하는 데 사용되는 주요 운동 중재로 저항훈련의 기본 방법 외에도, 연구는 수행과 결과적인 훈련 적응을 향상시킬 수 있는 추가 훈련 장비 또는 장치의 사용에 중점을 두고 있다. 또한 근육량과 근력을 증가시키기 위해서는 일반적으로 고강도 훈련 방법이 시행되며, 일상생활 유지에 기여하고 뼈형성증, 근감소증, 당뇨 및 허리통증 등을 예방하므로 이러한 운동방법을 권장하고 있다[2]. 그러나 높은 강도의 저항운동은 수축기와 이완기 혈압 모두를 현저히 증가시키고 부상 위험에 노출시키는 것으로 보고되고 있으며[3], 감독의 지도없이 시행될 경우에는 비실용적일 수 있고 위험에 노출될 수도 있다[4]. 따라서 근육량과 근력을 유지하고 골격근의 퇴행성 소실을 예방하기 위해서는 저항운동을 효율적으로 시행할 운동방법이 필요하다.

근력과 근육량을 향상시키기 위해 일반인의 경우 1 RM(Repetition Maximum)의 60-70%, 운동선수의 경우 1 RM의 80-100% 훈련 부하를 갖는 고강도 훈련 방법을 사용해야 한다고 제안되고 있으나[5] 이것은 골관절염 환자, 부상의 위험을 증가시키거나 기존의 장애를 악화시키지 않으면서 근력과 근육량을 향상시켜야 하는 환자에게는 종종 비실용적인 운동방법이다[6]. 이렇게 저항훈련은 근력을 향상하고 근육 비대를 자극하는데 사용되는 주요 운동중재이지만 최근에는 저항훈련의 기본방법 외에도 혈류제한운동과 같은 추가 훈련장비 활용에도 관심이 증가되고 있다[7].

혈류제한운동(Blood Flow Restriction Training)은 일반적으로 가장 근위부에 위치한 팽창식 커피를 사용하여 운동 중 사지 혈류를 부분적 또는 완전히 제한하는

훈련 방법으로 팔다리 부분의 혈류제한 압력은 안정시 수축기 혈압을 기반으로 하며 동맥혈 유입을 감소시키고 정맥의 흐름을 차단하는 방법이다[8]. 또한 비교적 낮은 부하로도 근육 유지 및 증가시키기 위한 효과적인 운동방법으로 알려져 있으며, 1 RM의 30~50% 정도의 낮은 강도 및 중간 강도의 부하를 적용함에도 불구하고 근질량과 근력증가에 효과적이다[9]. 이를 적용한 선행 연구를 살펴보면, 1 RM의 50% 강도로 혈류제한운동을 실시한 결과, 약 15% 상지 근력과 근 횡단면적이 증가하였으며[10], 1 RM의 20-30% 정도의 저강도 혈류제한 운동은 1 RM의 60-80% 정도의 고강도 저항운동과 유사한 근육 비대를 유발할 수 있다[11]. 따라서 근력과 근육량을 모두 향상시킬 수 있음을 시사한다[9].

혈류제한의 생리학적 변화가 발생하는 메커니즘은 완전히 밝혀지지는 않았지만 저산소증 및 근육산증과 관련이 있는 것으로 보이며, 이는 낮은 산소화 및 대사 수용체의 높은 자극으로 인해 빠르고 강렬한 피로를 유발할 수 있고 이러한 열악한 산소 환경은 또한 수축 강도를 유지하기 위해 유형 II 근섬유 동원을 증가시킬 수 있다[12]. 따라서 혈류제한운동은 근육비대 및 근력을 증가시키기 위한 목적으로 운동선수의 훈련과정과 재활분야에 다각적으로 시행할 수 있다[7].

현대사회에는 혈류제한운동에 대한 효용성을 위한 지속적인 연구가 필요한 시점으로 본 연구는 상지에 혈류제한운동을 적용하여 근활성도 및 근피로를 정량적으로 분석하여 혈류제한운동을 적용 시 근피로와 근활성도 증가의 관계를 알아봄으로써 운동의 효용성을 제시하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구는 기관 생명윤리위원회의 승인(SH-IRB 2021-69)을 받고 2021년 6월부터 2021년 10월까지 전라남도에 위치한 S대학에 재학 중인 스포츠학과 운동부 재학생들로 근골격계 질환 및 내·외과적 질환이 없는 자, 수축기 혈압 140 mmHg 이상 이완기 혈압이 90 mmHg이하인 자, 당뇨나 고혈압이 없는 자, 연구대상자

Table 1. General characteristics

Items	Experimental group I (n = 13)	Experimental group II (n = 12)	p
	M ± SD	M ± SD	
Age (years)	24.91 ± 3.14	24.03 ± 3.12	.482
Height (cm)	175.14 ± 5.26	176.17 ± 4.13	.214
Weight (kg)	73.29 ± 7.32	75.13 ± 9.18	.234
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.11 ± 2.92	24.93 ± 3.33	.479
SBP (mmHg)	117.14 ± 9.84	116.27 ± 10.23	.841
DBP (mmHg)	82.19 ± 6.84	83.32 ± 5.13	.585

들은 측정 전 최소 12시간 동안 공복상태를 유지하도록 하였으며, 과도한 음주와 흡연 등을 하지 않는 자를 대상으로 본 연구의 참여에 동의한 자 21명을 선정하였다. 연구대상자의 신체적 특성은 다음과 같다(Table 1).

## 2. 실험방법

### 1) 연구설계

본 연구는 위팔두갈래근 컬(biceps curl) 위에서 160 mmHg의 압력으로 설정된 혈류제한을 동반한 저강도 근력 운동을 적용한 집단 13명을 실험군 I으로, 고강도 근력 운동만 적용한 집단 12명을 실험군 II으로 1회 60분, 주 4회, 5주동안 중재를 실시하였다. 운동 전 표면 근전도(surface electromyography)를 사용하여 위팔두갈래근의 근활성도와 피로도를 측정하였고, 혈역학적 변인은 혈압과 심박수를 측정하였다. 사후검사는 사전검사와 동일하게 재측정하여 비교 분석하였다.

### 2) 측정도구 및 방법

#### (1) 혈류제한 적용방법

실험 전에 실험군 I은 위팔의 우세측 가장 근위부에 탄성 커프(cuff, Kaatsu-Master, Sato Sports Plaza, Tokyo, Japan)를 착용하여 훈련하였다. 커프의 적용기간 동안 100~130 mmHg압력으로 설정 후, 대상자의 안정 시 혈압을 기준으로 적용하였다[13]. 압력에 적응하는 동안 대상자에서 불편감과 통증이 나타나지 않는 범위에서 적용하였다. 혈류제한을 동반한 저강도 운동 세션 적용 첫날에는 커프를 100 mmHg의 압력으로 시작하였으며,

160 mmHg의 압력에 도달할 때까지 각 후속 운동 세션에서 압력을 10 mmHg씩 증가시켰다[14].

#### (2) 1 RM 강도측정

위팔두갈래근 컬(biceps curl, Korea, Newtech)을 이용하여 1 RM의 측정을 위해 각 대상자의 1 RM 간접 추정식을 이용하였다. 연구대상자들은 스트레칭과 유산소 운동을 10분간 실시한 후 가벼운 무게로 5~10회 반복하여 시행하고 1분간 휴식 후 근력검사를 실시하였다. 각 연구대상자들에게 최대한 반복을 가능할때까지 운동을 수행하도록 지시하였으며, 10회 이상 들어 올렸을 경우에는 3분간의 휴식 후에 무게를 증가시켜 10회 미만으로 수행한 무게와 반복한 횟수를 측정하여 간접 추정 식에 적용하였다. 간접 추정 식은 들어올린 무게(들어올린 무게 × 들어올린 횟수 × .025) = 1 RM을 적용하였다[15].

#### (3) 근활성도 및 근피로도 측정

표면근전도 MP 150 system (Biopac, USA) 4채널을 사용하여 위팔두갈래근의 근활성도를 측정하였고, 근전도 신호의 수집을 위해 표본추출율(sampling rate)은 1000으로 설정 하였으며, 주파수 대역 필터는 20~450 Hz로 설정하였다. 근전도 신호 측정 시의 피부저항을 최소화하기 위하여 대상자들의 주변 피부의 털을 제거한 후 알코올 솜을 사용하여 문질러 피부를 청결하게 하였으며, 2개의 Ag/AgCl 표면 전극을 사용하여 위팔두갈래근 근복(muscle belly)의 중간에서 팔꿈치 안쪽으로부터 3분의1지점 사이에 어깨뼈봉우리와 팔꿈치 안쪽

의 중간 방향에 근섬유와 평행한 방향으로 2cm 간격을 두고 부착하였다.

본 실험 전에 표면근전도 데이터의 표준화 작업을 위해 각 연구대상자들의 근육 별 최대등척성수축력(maximal voluntary isometric contraction; MVIC)을 측정하였다. 위팔두갈래근의 MVIC는 위팔두갈래근 컬을 이용하였고, 팔꿈치 굽힘 각도가 90° 인 자세에서 팔꿈치를 최대한 굽힐 때 발휘되는 최대값을 측정하였다. 최대등척성수축력은 3초동안 최대로 수축하여 총 3회 측정 후 최대값을 실효 치료 사용하였다. 산출된 근전도 파형을 실효치 진폭값(root mean square; RMS)으로 도출 한 후, 사전에 측정된 MVIC에 각 근육을 대비하여 %MVC 값으로 정량화 하였다[16]. 피로도 측정은 10초 동안 팔꿈치 각도를 90°로 굽힌 자세에서 팔꿈치를 최대한 유지한 상태에서 위팔두갈래근의 처음과 끝 2초씩을 빼 나머지 6초 구간을 3회 측정하여 중앙주파수 값을 산출하였다.

#### (4) 혈액학적측정

혈압(Blood Pressure, BP)은 자동식 혈압모니터(FT-500R, SELVAS Healthcare, Korea)를 활용하여 측정하였으며, 앞 가슴쪽에 해당하는 높이에서 팔을 지지하고 앉아 비우세측 팔에서 수행되었다[17]. 심박수(Heart Rate, HR) 모니터링은 HR 센서를 사용하여 운동 종료 후, 15분의 휴식 후에 측정하였다[18].

혈역학적변인에 대한 측정을 위해서 맥압(Pulse Pressure, PP)과 평균 동맥압(Mean Arterial Pressure, MAP), 심근산소소비량(Double Product, DP)을 산출하였다. 맥압은 [이완기혈압 + 1/3 × (수축기혈압 - 이완기혈압)]에 의해 수축기와 이완기 혈압 및 평균동맥압(Mean Arterial Pressure, MAP) 간의 차이로부터 계산되었으며, 심근산소소비량은 [수축기혈압 x 심박수]으로 산출하였다[19].

### 3. 중재방법

연구대상자들은 위팔두갈래근에 대해 5주 동안 강화 훈련프로그램을 시행하였다. 위팔두갈래근에 대한 고강도 저항운동은 우세측 팔의 등장성 강화 운동으로 1 RM의 70%로 위팔두갈래근 컬 운동(팔꿈치 관절을 0°에서

Table 2. Training program method

Program	Type	Methods
Warm-up	Stretching	10 minutes
Resistance Training	Biceps curl	High-intensity resistance training 1 RM (70%) 5 set, 12 rep, rest time: 2 min
		Low-intensity blood-restricting exercise 1 RM (30%) 5 set, 30~15 rep, rest time: 30 sec
Cool down	Stretching	10 minutes

135°굽힘으로 그리고 다시 0°로 움직임)을 5세트(1세트 당 12회)로 각 세트 사이에 2분 간의 휴식을 주었으며, 5주 동안 주 4회, 중간에 최소한 하루는 휴식을 주었다.

위팔두갈래근의 혈류제한을 동반한 저항도 저항운동은 1 RM의 30%로 위팔두갈래근 컬 운동 5세트(1세트 당 30회, 네 번째 세트까지는 15회 반복)로 각 세트 사이에 30초의 휴식을 주었으며 5주동안 시행하였다. 운동하는 동안 혈압계 커플을 운동한 팔의 근위 부분(액와 아래 두 손가락 너비)에 착용하고 160 mmHg의 압력으로 팽창시켰으며, 각 세트 사이의 휴식 시간을 포함하여 혈압계 나사를 조여 운동하는 동안 압력을 일정하게 유지시켰다[20](Table 2).

### 4. 자료분석

본 연구의 자료처리는 Window용 SPSS 20.0을 이용하여 변수에 대한 평균 및 표준편차값을 산출하였으며, 대상자의 동질성 검정은 Levene의 등분산 검정(Levene's test)을 시행하였다. 그리고 집단 내 종속변수 변화 비교는 대응표본 t-검정(Paired t-test)을 시행하였으며, 집단 간 종속변수 변화비교는 공분산분석(ANCOVA)을 하였다. 유의수준  $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

## III. 연구결과

### 1. 실험군 I의 집단 내 근활성도, 근피로도 및 혈액학적 변인의 변화 비교

실험군 I의 집단 내 근활성도, 근피로도 및 혈액학적 변인의 변화 비교에서는 위팔두갈래근 활성도와 근

Table 3. Comparison of the change in the Experimental group I

	Experimental group I (n = 13)		t	p
	Pre-test (M ± SD)	Post-test (M ± SD)		
BMA (%)	38.14 ± 9.34	44.02 ± 8.13	-4.943	.032
BMF (Hz)	43.13 ± 8.12	41.28 ± 9.84	3.528	.045
SBP (mmHg)	118.17 ± 8.24	115.32 ± 10.29	2.287	.271
DBP (mmHg)	82.08 ± 7.11	83.13 ± 5.11	-1.233	.413
MAP (mmHg)	95.13 ± 6.24	96.28 ± 6.85	-0.918	.614
PP (mmHg)	37.15 ± 7.21	35.45 ± 8.13	-2.132	.174
HR (bpm)	69.02 ± 13.74	76.82 ± 14.82	-4.124	.083
DP (bpm/mmHg)	8127.14 ± 1721.38	8515.34 ± 2012.13	-4.213	.059

'Paired t-test

\*p < .05

BMA: Biceps Muscle Activity, BMF: Biceps Muscle Fatigue, SBP: Systolic Blood Pressure, DBP: Diastolic Blood Pressure  
 MAP: Mean Arterial Pressure, PP: Pulse Pressure, HR: Heart Rate, DP: Double Product

Table 4. Comparison of the change in the Experimental group II

	Experimental group II (n = 12)		t	p
	Pre-test (M ± SD)	Post-test (M ± SD)		
BMA (%)	36.24 ± 6.17	43.27 ± 5.18	-5.213	.023
BMF (Hz)	42.19 ± 7.13	40.89 ± 6.77	1.828	.342
SBP (mmHg)	113.45 ± 10.12	110.94 ± 8.98	1.613	.349
DBP (mmHg)	83.46 ± 7.38	85.28 ± 8.12	-2.003	.231
MAP (mmHg)	90.98 ± 7.56	93.18 ± 8.13	-3.218	.124
PP (mmHg)	32.17 ± 7.18	29.28 ± 6.74	3.452	.148
HR (bpm)	70.25 ± 10.18	74.19 ± 11.38	-4.312	.088
DP (bpm/mmHg)	8042.89 ± 1921.13	8124.09 ± 1848.94	-2.982	.184

'Paired t-test

\*p < .05

BMA: Biceps Muscle Activity, BMF: Biceps Muscle Fatigue, SBP: Systolic Blood Pressure, DBP: Diastolic Blood Pressure,  
 MAP: Mean Arterial Pressure, PP: Pulse Pressure, HR: Heart Rate, DP: Double Product

피로도에서 유의한 차이가 있었고(P < .05), 혈역학적 변인은 유의한 차이가 없었다(Table 3).

만 유의한 차이가 있었고(P < .05), 근피로도와 혈역학적 변인은 유의한 차이가 없었다(Table 4).

2. 실험군 II의 집단 내 근활성도, 근피로도 및 혈역학적 변인의 변화 비교

실험군 II의 집단 내 근활성도, 근피로도 및 혈역학적 변인의 변화 비교에서는 위팔두갈래근 활성도에서

3. 집단 간 변화 비교

집단 간 근활성도, 근피로도 및 혈역학적 변인의 변화 비교에서는 전 변수 간 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 5).

Table 5. Comparison of the change between the groups

	Items	Pre-test (M ± SD)	Post-test (M ± SD)	F	p
BMA	Experimental group I	38.14 ± 9.34	44.02 ± 8.13	2.084	.198
	Experimental group II	36.24 ± 6.17	43.27 ± 5.18		
BMF	Experimental group I	41.28 ± 9.84	43.13 ± 8.12	2.242	.104
	Experimental group II	42.19 ± 7.13	40.89 ± 6.77		
SBP	Experimental group I	118.17 ± 8.24	115.32 ± 10.29	1.652	.208
	Experimental group II	113.45 ± 10.12	110.94 ± 8.98		
DBP	Experimental group I	82.08 ± 7.11	83.13 ± 5.11	1.211	.324
	Experimental group II	83.46 ± 7.38	85.28 ± 8.12		
MAP	Experimental group I	95.13 ± 6.24	96.28 ± 6.85	3.118	.121
	Experimental group II	90.98 ± 7.56	93.18 ± 8.13		
PP	Experimental group I	37.15 ± 7.21	35.45 ± 8.13	1.728	.214
	Experimental group II	32.17 ± 7.18	29.28 ± 6.74		
HR	Experimental group I	69.02 ± 13.74	76.82 ± 14.82	1.881	.231
	Experimental group II	70.25 ± 10.18	74.19 ± 11.38		
DP	Experimental group I	8127.14 ± 1721.38	8515.34 ± 2012.13	5.028	.064
	Experimental group II	8042.89 ± 1921.13	8124.09 ± 1848.94		

\*ANCOVA

BMA: Biceps Muscle Activity (%), BMF: Biceps Muscle Fatigue (Hz), SBP: Systolic Blood Pressure (mmHg), DBP: Diastolic Blood Pressure (mmHg), MAP: Mean Arterial Pressure (mmHg), PP: Pulse Pressure (mmHg), HR: Heart Rate (bpm), DP: Double Product (bpm/mmHg)

#### IV. 고 찰

근육량과 근력을 유지하고 골격근의 퇴행성 소실을 예방하기 위하여 혈류 제한을 결합한 저강도 저항운동이 강도 높은 저항운동에 대안이 될 수 있는 운동방법이라는 가정 하에 본 연구는 위팔두갈래근에 혈류제한 저항운동을 시행하여 근활성도, 근피로도 및 혈류역학적 변인에 미치는 영향에 대하여 다음과 같이 논의하고자 한다.

혈류 제한을 이용한 운동은 조직에 과부하를 주지 않으면서 근육 크기와 힘의 증가를 유도하는 것으로 나타났으며 임상 및 기초 연구 관점에서 다양한 효과도 입증되어 가고 있다[21]. 이와 관련된 선행연구를 살펴보면 Loenneke 등[22]은 혈류제한이 전방십자인대 재건

수술 후에 사용할 때 고부하 저항훈련과 유사한 정도로 근육 비대와 근력을 증가시킨다고 하였고, Centner와 Lauber[23]는 혈류제한을 동반한 저강도 운동 집단과 혈류제한을 하지 않은 저강도 및 고강도 운동 집단을 비교한 결과 혈류제한을 하지 않은 저강도 운동집단보다 더 높은 근활성화를 보였으며, Kaminski와 Lowe[24]의 연구에서는 혈류제한이 위팔두갈래근에 미치는 영향을 알아보기 위해서 21명의 대학생들을 대상으로 혈류 제한을 병행한 저부하 운동집단과 혈류제한 없이 고부하 운동만을 실시한 집단으로 나누어 위팔두갈래근 힘줄의 힘과 힘줄 크기를 초음파를 통해 비교한 결과, 두 집단 모두 증가된 힘줄 두께를 보여주었고 1 RM의 40%인 혈류제한을 이용한 저부하 운동이 1 RM의 80%

인 고부하 운동을 수행하는 것과 유사한 효과를 나타냈다. 본 연구에서도 두 집단 모두 유의한 차이가 나타나 선행연구를 지지하는 결과를 도출하였는데 이는 대사 산물 축적 및 저산소 환경의 간접적인 효과를 통해 근육 변화가 발생한 것으로 보이며[25], 따라서 혈류제한을 동반한 저항도 운동이 수술 전 환자, 수술 후 환자, 근육 위축을 방지하기 위한 노인 환자, 근육 손상 후 주변 근육 강화 및 고부하 훈련의 대안으로 하는 사람들에게 근육 강화를 증가시킬 수 있는 대체 방법이 될 수 있다[26].

근피로도 측정은 표면 근전도를 사용하였고, 중앙주파수 값으로 근육의 피로도를 측정하였으며 이는 신체 근육에 가해지는 부하의 피로도를 일반적으로 평가하는 방법으로 자주 사용되고 있다[27]. 근피로는 근전도상의 주파수 값이 높아지면 속근섬유의 근비대가 원인이 되어 주파수 스펙트럼이 고주파에서 저주파 대역으로 이동하는 경우는 근 피로의 증가 또는 근 지구력의 감소 현상이라고 하였으며[28], 주파수가 낮아지는 원인으로서는 전도 속도, 운동단위의 활동 빈도, 근막의 흥분성 감소 등의 변화로 보고 있어, 운동 시 이를 보완할 수 있는 방법들이 필요하다. 근 피로에 관련된 선행연구들을 살펴보면 Pierce 등[29]은 혈류제한을 이용한 무릎 펌 운동이 가쪽넓은근과 넙다리곧은근에 대한 중앙주파수 값의 점진적인 감소를 유발한다고 보고하였고, Neto 등[30]의 연구에서는 60% 혈류 제한을 사용한 고강도(80% 1-RM)의 스쿼트를 수행한 결과 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 중앙주파수 값이 각각 18.5%, 18.2% 감소하였으며, Fatela 등[31]의 연구에서는 14명의 20대 성인남성을 대상으로 다양한 수준의 혈류제한 강도에 따른 저항도 무릎신전 시 넙다리곧은근과 안쪽넓은근의 근활성도와 피로도의 급성효과를 알아본 결과 혈류제한의 강도가 더 높을수록 운동 후 중앙주파수 값의 더 큰 감소를 보였다. 본 연구에서도 혈류제한을 동반하여 저항도 근력을 적용한 집단 내에서 중앙주파수 값의 유의한 감소를 보여 선행연구를 지지하였다. 이러한 결과는 혈류제한으로 허혈성 상태동안 피로를 주는 저항도 운동이 느린(Type I) 및 빠른(Type II) 연축섬유를 모두 동원할 수 있음을 시사한다[32]. 집단 간 비교에

서는 차이는 나타나지 않았는데, 혈류제한을 동반한 저항도 저항운동이 5주 간의 중재기간 동안 대사적 특성의 변화로 지구력이 향상되어 고강도 저항운동과 비교했을 때 피로도 변화의 차이가 없는 것으로 보이며, 혈류제한을 동반한 저항도 저항운동이 대안적인 방법이 될 수 있음을 의미한다.

한개의 근육 영역에 적용되는 혈류제한을 동반한 장기적인 저항운동은 커프 아래 영역의 근육 구조를 직접 손상시킬 수 있으며 이는 운동 능력뿐만 아니라 선수의 안전에 위협이 될 수도 있다[33]. 또한 혈류제한은 심장으로 돌아오는 혈액의 양을 인위적으로 감소시키기 때문에 근육에 더 많은 산소가 필요하다는 신호를 보내면 중추 신경계는 부교감신경이 억제되고 교감신경이 활성화되어 반응한다. 이로 인해 신체는 심박수를 증가시켜 산소가 제거된 조직에 더 많은 혈액을 보내려고 하는데, 이는 심장의 부하를 증가시키기 때문에 대상자의 심혈관 혈역학반응을 조절해야 한다[34]. 관련된 선행연구들을 보면 Wooten 등[35]은 20명의 건강한 참가자를 대상으로 양쪽 다리에 혈류제한 밴드를 부착한 집단과 부착하지 않은 집단으로 나누어 등척성 운동을 수행한 결과 두 집단 모두 혈류역학적 변인에 유의한 차이가 없었고, Tai 등[36]의 연구에서는 23명의 젊은 성인들을 대상으로 혈류제한의 유무에 따른 혈역학적 변인들을 연구한 결과 상체 운동이든 하체 운동이든 상관없이 혈류 제한과 혈류 제한이 없는 사이의 심혈관 반응은 유사하게 나타났다고 보고하였다. 본 연구에서도 집단 간 혈역학적 변인의 매개변수 모두 유의한 차이를 나타나지 않아 선행연구를 지지하였다. 이러한 결과 분석은 혈류제한을 동반하여 저항도 근력을 적용한 실험군은 고강도 근력 훈련만 적용한 대조군과 비교했을 때 확장기혈압, 평균동맥압, 맥압, 심박수 및 심근산소 소비량에서 유사한 결과값을 도출하여 안전하고 유용한 방법임을 시사한다.

본 연구의 제한점으로는 연구대상자들이 1개의 대학에서 재학 중인 남학생으로 제한하였기 때문에 모든 연령과 성별에 대한 일반화 시키기는 어려운 점과, 정상인을 대상으로 실험을 하였기 때문에 일상생활에 대한 통제가 힘들어 변수가 발생할 수 있다는 점이다.

또한 대조군 선정을 따로 하지 않았기에 정량적인 효과에 대해서는 알 수 없다는 점이다.

## V. 결론

현대사회의 급속한 발전으로 운동부족과 근 감소로 인해 운동은 필수적인 요소로 본 연구에서는 위팔두갈래근에 혈류제한을 동반한 저항도 저항운동이 근활성도와 근피로도 및 혈액학적 변인에 미치는 영향을 확인하기 위해 수행되었으며, 그 결과 5주 동안의 혈류제한을 동반한 저항도 저항운동이 위팔두갈래근의 근력을 증가시켰으며 고강도 저항운동과 유사한 효과를 낼 수 있음을 보여주었다. 이는 고강도 근력운동이 힘든 노인이나 환자들에게 근 기능을 향상시킬 수 있는 대안이 될 수 있을 것으로 보이며 혈류제한을 동반한 저항도 운동에 대한 다양한 프로토콜 개발 연구들이 필요할 것으로 사료된다.

## Acknowledgements

본 연구는 2022년 세한대학교의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

## References

- [1] Jeong DG, Kang JI, Jang JM. Effect for wellness of blood flow restriction aerobic exercise program - focusing on muscle activity and mTOR neurons. *The Journal of Korea Entertainment Industry Association*. 2021; 15(7):225-233.
- [2] Pescatello LS, Riebe D, Thompson PD. *ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription*. Lippincott Williams & Wilkins; 2014.
- [3] Sumide, T, Sakuraba, K, Sawakib, K, et al. Effect of resistance exercise training combined with relatively low vascular occlusion. *J Sci Med Sport*. 2009;12(1):107-12.
- [4] Haykowsky MJ, Findlay JM, Ignaszewski AP. Aneurysmal subarachnoid hemorrhage associated with weight training: three case reports. *Clin J Sport Med*. 1996;6(1):52-5.
- [5] Queiroz ACC, Kanegusuku H, Forjaz CL, et al. Treinamento resistido sobre a pressão arterial de idosos. *Arq Bras Cardiol*. 2010;95(1):135-140.
- [6] LeBrasseur NK, Walsh K, Arany Z. Metabolic benefits of resistance training and fast glycolytic skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2011;300(1):E3-10.
- [7] Cook CJ, Kilduff LP, Beaven CM. Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9(1):166-72.
- [8] Mattocks KT, Jessee MB, Mouser JG, et al. The application of blood flow restriction: Lessons from the laboratory. *Curr Sports Med Rep*. 2018;17(4):129-34.
- [9] Lixandrao ME, Ugrinowitsch C, Berton R, et al. 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*. 2018;48(2):361-378.
- [10] Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2002;86(4):308-14.
- [11] Loenneke JP, Allen KM, Mouser JG, et al. Blood flow restriction in the upper and lower limbs is predicted by limb circumference and systolic blood pressure. *Eur. J. Appl Physiol*. 2015;115(2):397-405.
- [12] Fatela P, Reis JF, Mendonca GV, et al. Acute neuromuscular adaptations in response to low-intensity blood-flow restricted exercise and high-intensity resistance exercise: Are There Any Differences? *J Strength Cond Res*. 2018;32(4):902-10.
- [13] Yasuda T, Abe T, Brechue WF, et al. Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. *Metabolism*. 2008;59(10):1510-9.
- [14] Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, et al. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2010;30(5):338-43.



- [15] Earle RW. Weight training exercise prescription. essentials of personal training symposium workbook. Lincoln. NE: NSCA Certification Commission. 1999; 1-14.
- [16] Lee WJ, Seo SW, Lee HS. Effects of low intensity resistance training speed on body composition, muscle activity and muscle strength in obese middle-aged women. *Korean Journal of Physical Education*. 2017;56(4):575-84.
- [17] Brown LE, Weir JP. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. *J Exerc Physiol*. 2001;4(3):1-21.
- [18] Sociedade BC (2016). VII diretriz brasileira de hipertensão arterial. brasil, grandes regiões e unidades da federação. *Arq Bras Cardiol*. 2016;107(3):1-83.
- [19] Rocha E. Influência da pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica a repercussão nos órgãos alvo. *Rev Factores Risco*. 2013;28(1):16-9.
- [20] Sugiarto D, Andriati A, Laswati H, et al. Comparison of the increase of both muscle strength and hypertrophy of biceps brachii muscle in strengthening exercise with low-intensity resistance training with and without the application of blood flow restriction and high-intensity resistance training. *J Bali Med*. 2017;6(2):251-7.
- [21] Wernbom M, Aagaard P. Muscle fibre activation and fatigue with low-load blood flow restricted resistance exercise—An integrative physiology review. *Acta physiol*. 2020;228(1):e13302.
- [22] Loenneke JP, Fahs CA, Thiebaud RS, et al. The acute muscle swelling effects of blood flow restriction. *Acta Physiological Hungarica*, 2012;99(4):400-10.
- [23] Centner C, Lauber B. A systematic review and meta-analysis on neural adaptations following blood flow restriction training: what we know and what we don't know. *Front Physiol*. 2020;11:887.
- [24] Kaminski NA, Lowe A. Blood flow restriction and various intensity exercise in the upper extremity. 2022.
- [25] Jakobsen MD, Sundstrup E, Randers MB, et al. The effect of strength training, recreational soccer and running exercise on stretch-shortening cycle muscle performance during countermovement jumping. *Hum Mov Sci*. 2012;31(4):970-86.
- [26] Burd NA, Tang JE, Moore DR, et al. Exercise training and protein metabolism: influences of contraction, protein intake, and sex-based differences. *J Appl Physiol*. 2009;106(5):1692-701.
- [27] Kuthe CD, Uddanwadiker RV, Ramteke AA. Surface electromyography based method for computing muscle strength and fatigue of biceps brachii muscle and its clinical implementation. *Inform Med Unlocked*. 2018;12:34-43.
- [28] Portero P, Bigard AX, Flageat JR, et al. Effects of resistance training in humans on neck muscle performance, and electromyogram power spectrum changes. *Eur J Appl Physiol*. 2001;84(6):540-6.
- [29] Pierce JR, Clark BC, Ploutz-Snyder LL, et al. Growth hormone and muscle function responses to skeletal muscle ischemia. *J Appl Physiol* 2006;101(6):1588-95.
- [30] Neto GR, Santos HH, Sousa JB, et al. Effects of high-intensity blood flow restriction exercise on muscle fatigue. *J Hum Kinet*. 2014;41:163-72.
- [31] Fatela P, Reis JF, Mendonca GV et al. Acute effects of exercise under different levels of blood-flow restriction on muscle activation and fatigue. *Euro J Appl Physiol*. 2016;116(5):985-95.
- [32] Wernbom M, Aagaard P. Muscle fibre activation and fatigue with low-load blood flow restricted resistance exercise—An integrative physiology review. *Acta Physiol*. 2020;228(1):e13302.
- [33] Ellefsen S, Hammarström D, Strand TA, et al. Blood flow restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2015;309(7):767-79.
- [34] Smith DL, Fernhall B. *Advanced Cardiovascular Exercise Physiology*. Champaign, IL: Human Kinetics. 2022.
- [35] Wooten SV, Stray-Gundersen S, Tanaka H. Hemodynamic

and pressor responses to combination of yoga and blood flow restriction. *Int J Sports Med.* 2020;41(11):759-65.

[36] Tai YL, Marshall EM, Parks JC et al. Hemodynamic response and pulse wave analysis after upper-and

lower-body resistance exercise with and without blood flow restriction. *European Journal of Sport Science.* 2021;1-10.