

저강도 혈류제한 운동과 고강도 저항운동이 위팔두갈래근 근 활성도와 혈역학적 변인에 미치는 영향

Effects of Low-Intensity Blood Flow Restriction Exercise and High-Intensity Resistance Exercise on Biceps Muscle Activity and Hemodynamic Variables

정대근(세한대학교 교수) · 양상훈*(세한대학교 교수)

Dae-Keun Jeong(Sehan Univ) · Sang-Hoon Yang*(Sehan Univ)

요약

본 연구는 유도선수를 대상으로 위팔두갈래근에 혈류제한 저항훈련을 시행함으로써 근 활성도와 혈역학적 변인을 정량적으로 비교·분석하여 효과적인 혈류제한 운동프로그램의 효용성을 제공하고자 하였다. 본 연구는 압력 정도가 160 mmHg인 커프(cuff)를 착용하고 위팔두갈래근 결 (biceps curl) 위에서 혈류제한을 결합하여 저강도(IRM 30%) 근력운동을 적용한 집단 10명, 고강도(IRM 70%) 근력운동만 적용한 집단 11명을 대상으로 8주간 운동 프로그램을 실시한 결과는 다음과 같다. 혈류제한 저강도 근력 운동 후 위팔두갈래근의 근 활성도는 유의하게 증가하였으나($p<0.05$), 혈역학적 변인에는 차이가 나타나지 않았다. 고강도 근력 운동 후 위팔두갈래근의 근 활성도는 유의하게 증가하였으나($p<0.05$), 혈역학적 변인에는 차이가 나타나지 않았다. 두 집단 간의 변화 비교에서는 모든 변수에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 결론적으로 혈류제한을 적용한 저강도 저항훈련에서 고강도 저항성 훈련 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 높은 운동 강도를 사용하지 않고도 근 활성도를 증가시키는 결과를 보았을 때 혈류를 제한한 운동프로그램은 근 기능을 향상시킬 수 있는 대체 가능한 훈련방법이라고 생각되며, 이는 강도 높은 훈련을 실시하는 엘리트 선수들에게 효용성을 제시하는 기초자료뿐만 아니라 고강도 훈련으로 인한 피로와 부상 예방에 도움을 줄 것으로 사료된다.

Abstract

This study was to provide of an effective blood flow restriction exercise program by quantitatively comparing and analyzing muscle activity and hemodynamic variables by conducting blood flow restriction resistance training on the biceps brachii muscle for judo athletes. In this study, a group of 10 people who applied low-intensity(IRM 30%) strength training by combining blood flow restriction on the biceps curl wearing a cuff with a pressure degree of 160mmHg, high-intensity(IRM 70%) The results of the 8-week exercise program for 11 people in the group that only applied strength training were as follows. After low-intensity strength training with blood flow restriction, the muscle activity of the biceps increased significantly($p<0.05$), but there was no difference in hemodynamic variables. After high-intensity strength training, the muscle activity of the biceps increased significantly($p<0.05$), but there was no difference in hemodynamic variables. In comparison of changes between the two groups, there were no significant differences in any variables. In conclusion, it was found that the effect of high-intensity resistance training can be expected from low-intensity resistance training to which blood flow restriction is applied. Therefore, seeing the results of increasing muscle activity without using high exercise intensity, it is judged that an exercise program that restricts blood flow is an alternative training method that can improve muscle function, It is thought that it will help prevent fatigue and injuries caused by high-intensity training as well as basic data suggesting effectiveness.

Key words : blood flow restriction exercise, resistance exercise, biceps muscle, muscle activity, hemodynamic variables

I. 서론

스포츠는 다양한 유형으로 경쟁하지만 일반적으로 근육 발달과 기능 향상을 위해 근력 및 저항 훈련을 실시하고 있다(Androulakis-Korakakis, Fisher & Steele, 2020). 이러한 훈련들은 운동선수들의 경기력 향상에 도움을 주고 있으며(Bompa & Haff, 2009), 특히 저항훈련은 파워, 최대근력, 근지구력 등을 향상시키기 때문에 스포츠 현장에서 가장 많이 활용되고 있다(ACSM, 2006).

보편적으로 개인이 최대로 들어 올릴 수 있는 1회 반복(one-repetition maximum; 1RM)을 적용하여 근육 비대 및 근력 증가를 유도하는 데 필요한 기준으로 사용되고 있으며(Garber et al., 2011), 미국스포츠의학회(american college of sports medicine)에서는 사람들이 들 수 있는 최대 하중의 60-70% 이상을 저항운동의 적정 부하로 권장하고 있다(ACSM, 2009). 그리고 1RM의 50-65%로 수행하는 중강도 저항성 운동이 고강도 저항성 운동만큼 근력과 근육량을 증가시키는데 효과적이라고 보고되고 있다(Alegre et al., 2015). 하지만 경기력 향상과 노화로 인한 근육 퇴화를 예방하기 위해 권장되고 있지만, 고강도의 저항 운동은 노인과 만성 질환 및 심혈관 질환의 경험이 있는 환자들은 신체적 상태를 고려하여 실시해야 한다(Horiuchi & Okita, 2012).

저항 훈련은 근력을 높이고 일상적인 신체 기능과 스포츠 수행능력을 향상시키고 부상으로부터 회복을 향상시키는 가장 기본적인 방법 중 하나이며(American College of Sports Medicine, 2009; Kraemer & Ratamess, 2004), 고강도 저항 훈련(최대 1회 반복의 1RM 60-80%)은 근력을 가장 크게 증가시키고 근육 크기 증가 및 신경 적응 개선과 관련이 있다(Folland & Williams 2007). 그러나 고강도 저항훈련은 수축기 및 이완기 전신 혈압을 모두 현저하게 증가시키고 부상 위험에 노출 될 수 있기 때문에(Sumide, Sakuraba, Sawaakib, Ohmurac & Tamurad, 2009) 적절한 모니터링이 필요하다(Haykowsky, Findlay & Ignaszewski, 1996). 따라서 노화에 의한 근육 퇴화를 예방하기 위한 근력운동은 효율적이며 안전성이 확보되어야 한다.

최근 근력 운동 경험이 없는 초보자들도 부상의 위험 없이 실시할 수 있고 신체 중 단련하고자 하는 부위에 압력 커프(cuff)를 사용하여 혈류를 제한 후 저항성 운동을 실시하는 혈류제한훈련(blood flow restriction training; BFRT)이 부각되고 있다(Cook, LaRoche, Villa, Barile & Manini, 2017; Vanwyte, Weatherholt & Mikesky, 2017).

혈류제한 운동방법은 혈류를 제한할 수 있는 커프를 이용하여 팔이나 다리부위에 착용한 후 동맥 및 정맥의 혈류를 제한하여 낮은 강도에서 운동을 시행하는 방법이다(Kumagai et al., 2012). 일반적으로 높은 강도 운동 시 근 비대(muscle hypertrophy)와 연계된 근섬유 II형 유형에 영향을 미치는데, 혈류제한 환경에서는 낮은 강도로 세포안의 환경이 산성으로 변환되어 구심성신경(afferent nerve)의 화학적 민감성 III형 및 IV형(chemosensitive group III and IV)이 자극이 되어서 근섬유 II형이 동원될 수 있는 것이다(Manini & Clark, 2009).

이와 관련된 선행연구를 살펴보면, 1RM 50% 강도로 혈류제한 근력 운동을 실시한 결과 약 15% 근력과 근 횡단면적이 증가하였으며(Takarada & Ishii, 2002), 1RM 30% 강도로 하지에 혈류제한 저항운동을 실시한 결과 등속성 대퇴 신전근력은 약 17% 향상된 것으로 나타났다(Kim & Sin, 2017). 또한 혈류제한 저항도 저항 훈련(1RM 20-30%)은 전통적인 고강도 저항 훈련(1RM 60-80%)과 유사한 근육 비대를 유발할 수 있으며(Loenneke, Wilson, Marin, Zourdos & Bembien, 2012), 근력과 근육량을 모두 향상시킨다(Lixandrao et al., 2018).

이러한 혈류제한의 운동프로그램은 저항도 운동으로도 근육 크기와 근력을 향상시키는 대안적인 훈련 방법이 될 수 있다는 것이 제시되고 있다. 그리고 비교적 가벼운 부하를 사용하여 고혈압 환자와 같이 중등도의 높은 부하(1RM 60%)로 전통적인 운동을 수행하는 데 제한이 있는 사람들에게 권장되고 있지만(Neto et al., 2017), 같은 맥락에서 근력 및 근육량에 대한 결과 외에도 혈압(blood pressure; BP)과 같은 다른 생리적 변수를 분석하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

따라서 혈류제한 운동을 적용한 후 효용성을 제시할 수 있는 지속적인 연구가 필요한 시점으로 본 연구는 유도선수를 대상으로 위팔두갈래근에 혈류제한 저항성 운동을 시행함으로써 근 활성도와 혈역학적 변인을 정량적으로 비교·분석하여 안정적이면서 효과적인 혈류제한 운동프로그램의 효용성을 제시하는 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 기관 생명윤리위원회의 승인(SH-IRB 2021-68)을 받고 2021년 1월부터 2021년 9월까지 전라남도에 소재한 S대학에 기숙 생활을 하면서 재학 중인 유도선수들로서 혈류제한운동 그룹 10명(경량급 5명, 중량급 5명), 고강도 운동 그룹 11명(경량급 6명, 중량급 5명) 총 21명을 대상으로 선정하였다. 대상자들은 내·외과적인 질환 및 근 골격계 질환이 없는 자, 수축기 혈압이 140mmHg 이상 및 확장기 혈압이 90mmHg를 넘지 않은 자, 고혈압 당뇨가 없는 자로써 측정 전 최소 12시간 동안 공복을 지키도록 하였으며, 실험기간 중 정확한 변인을 측정하기 위해 과도한 흡연과 음주 등을 하지 않도록 통제하였다. 그리고 피험자들은 본 연구의 취지를 이해하고 참여에 동의하였으며, 연구대상자의 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 연구대상자의 신체적 특성

Items	BFRE(n=10)	HIIE(n=11)	sig.
Age(years)	24.10±2.06	23.43±3.99	.420
Height(cm)	176.71±4.26	178.57±5.13	.295
Weight(kg)	72.32±8.11	74.83±9.21	.148
BMI(kg/m ²)	23.34±3.54	24.13±3.92	.524
SBP(mmHg)	119.67±10.84	114.67±11.44	.919
DBP(mmHg)	84.19±6.42	82.32±7.13	.425

BFRE: Blood Flow Restriction Exercise
HIIE: High Intensity Restriction Exercise

2. 연구내용 및 절차

본 연구는 위팔두갈래근(컬(biceps curl)) 위에서 압력 정도가 160 mmHg으로 설정된 혈류제한을 결합하여 저장도 근력 훈련을 적용한 집단 10명, 고강도 근력 훈련만 적용한 집단 11명으로 8주간, 주 4회, 1일 1회, 1회 60분 간 운동 프로그램을 실시하였다.

운동 전 표면 근전도(electromyography)를 활용하여 위팔두갈래근의 근 활성도를 측정하였고, 혈액학적 변인은 혈압과 심박수를 측정하였다. 사후검사는 이들 항목을 동일하게 재 측정하여 비교 분석하였다.

1) 혈류제한 적용방법

실험 전에 BFRE 집단은 위팔의 우세 측 가장 근위부에 탄성 커프(cuff, Kaatsu-Master, Sato Sports Plaza, Tokyo, Japan)를 착용하도록 훈련하였다. 적용 기간 동안 커프의 외부 압력(100-130 mmHg)은 대상자의 안정 시 혈압과 연계되어 선택하였다(Yasuda et al., 2008). 압력에 순응하는 동안 피험자에서 불편함이나 통증의 징후가 관찰되지 않는 범위에서 시행하였다.

저강도 혈류제한 운동세션 동안 탄성 커프를 착용한 후 훈련 첫날에는 커프를 100mmHg의 압력으로 부풀렸으며, 160mmHg의 압력에 도달할 때까지 각 후속 훈련 세션에서 압력을 10mmHg씩 증가시켰다(Yasuda, Fujita, Ogasawara, Sato & Abe, 2010).

2) 1RM 강도측정

1RM 강도 측정은 위팔두갈래근(컬(biceps curl, Korea, Newtech))을 이용하여 1RM을 측정하기 위해 각 실험자의 1RM 간접 추정식을 이용하였다. 각 실험자는 동적 스트레칭과 유산소 운동을 10분간 실시한 후 가벼운 무게로 5-10회 반복하여 시행하고 1분간의 휴식을 취한 뒤 근력검사를 시행하였다. 각 실험자에게 최대한 반복을 적용할 수 있을 때까지 운동을 수행하도록 하였으며, 10회 이상 들어 올렸을 경우에는 3분간 휴식을 제공한 뒤에 무게를 증가시켜 10회 미만으로 수행한 무게와 반복한 횟수를 측정하여 간접 추정식에 적용하였다. 간접 추정식은 (들어 올린 무게×들어 올린 횟수×0.025)+들어 올린무게=1RM을 적용하였다(Earle, 1999).

3) 근전도 측정

위팔두갈래근의 근 활성도 측정을 위해 표면근전도 MP 150 system(Biopac, USA) 4채널을 사용하였으며, 근전도의 신호를 수집하기 위하여 표본추출율(sampling rate)은 1000으로 설정하였고, 주파수의 대역 필터는 20~450 Hz로 설정하였다. 근전도 신호 피부 저항의 최소화를 위해 대상자들의 피부에서 털을 제거하고 가는 사포를 이용하여 각질 제거 후 알코올 솜으로 문질러 피부를 청결히 유지하였으며, 2개의 Ag/AgCl 표면 전극을 사용하여 위팔두갈래근 근복(어깨뼈봉우리)의 중간에서 팔꿈치 안쪽으로부터 1/3지점 사이에 어깨뼈봉우리와 팔꿈치 안쪽의 중간 방향)에 근섬유와 평행한 방향으로 2cm 간격으로 부착하여 측정하였다.

본 실험 전에 근전도 데이터의 표준화 작업을 위하여 각 실험자의 근육별 최대등척성수축력(maximal voluntary isometric contraction; MVIC)을 측정하였다. 위팔두갈래근의 MVIC은 위팔두갈래근(컬)을 이용하였으며, 팔꿈치 각도를 90°로 굽힌 자세에서 팔꿈치를 최대한 굽힐 때 발휘되는 최대값을 측정하였다. 최대등척성수축력은 3초간의 최대로 수축하여 총 2회를 측정한 후에 최대값을 실효치로 활용하였다. 산출된 근전도 파형을 실효치 진폭값(root mean square; RMS)으로 도출한 후, 사전에 측정된 MVIC에 각 근육을 대비하여 %MVC 값으로 정량화 하였다(이우중 및 이호성, 2017).

4) 혈액학적 변인측정

혈압(blood pressure; BP)은 자동식혈압모니터(FT-500R, Korea)를 사용하여 측정하였으며, 실험자는 앞가슴 쪽에 해당하는 높이에서 팔을 지지하고 앉아 비우세 측 팔에서 수행되었다(Brown & Weir, 2001).

심박수(heart rate; HR) 모니터링은 HR센서를 이용하여 운동 종료 후, 15분의 휴식 후에 측정하였다(Sociedade Brasileira de Cardiologia, 2016).

혈액학적 변인에 대한 측정을 위해 맥압(pulse pressure; PP), 평균동맥압(mean arterial pressure; MAP) 및 심근산소소비량(double product; DP)을 계산했다. 맥압은 [이완기혈압 + 1/3 x (수축기혈압 - 이완기혈압)]에 의해 수축기혈압과 이완기혈압 및 평균 동맥압(mean arterial pressure; MAP) 간의 차이로부터 계산되었으며, 심근산소소비량은 [심박수 x 수축기혈압]으로 계산하였다(Rocha, 2013).

3. 운동 프로그램 방법

BFRE 집단 위팔두갈래근의 저장도 혈류 제한 훈련은 1RM 부하 강도의 30%로 위팔두갈래근(컬) 운동(0° 펌에서 135° 굽힘으로 그리고 다시 0° 펌으로 팔꿈치 관절의 움직임) 4세트(첫 번째 세트는 30회, 네 번째 세트까지는 15회 반복)로 8주 동안 각 세트 사이에 30초의 휴식 시간을 제공하였다. 운동하는 동안 성인 혈압계 커프를 운동한 사지의 근위 부분(액와 아래 두 손가락 너비)에 적용하

고 160mmHg 압력에 도달하도록 팽창시켰으며, 각 세트 사이의 휴식 시간을 포함하여 혈압계 나사를 잠그어 운동하는 동안 압력을 항상 유지하였다(Sugiarto, Andriati, Laswati & Kimura, 2017).

HIRE 집단 위팔두갈래근의 고강도 저항훈련은 우세측 위팔두갈래근의 등장성 강화 운동으로 1RM 부하 강도의 70%로 위팔두갈래근 켜 운동(0° 펌에서 135° 굽힘으로 그리고 다시 0° 펌으로 팔꿈치 관절의 움직임) 3세트(각 세트 당 12회 반복)로 각 세트 사이에 2분의 휴식 시간이 있으며, 8주간 주 4회(월, 화, 목, 금)로 중간에 최소한 하루는 휴식을 제공하였으며, 야간운동시간 활용하여 총 60분(20:00-21:00)으로 운동 프로그램을 진행하였다.

표 2. 운동 프로그램

Exercise Program	
Warm-up	Stretching 10min
Resistance Training (Biceps curl)	Low-intensity blood-restricting exercise 1RM(30%), 10set, 30~15rep, rest time: 60sec
	High intensity resistance training 1RM(70%), 10set, 12rep, rest time: 2min
Cool down	Stretching 10min

4. 자료처리 및 평가방법

본 연구의 자료 처리는 Window용 SPSS 20.0을 이용하여 측정변수에 대한 평균값과 표준편차를 산출하였으며, 연구대상자의 일반적 특성을 위해 Levene의 등분산 검정(Levene's test)을 실시하였다. 그리고 집단 내 근 활성도와 혈액학적 변인의 변화 비교를 위해 대응표본 t-검정(Paired t-test)를 사용하였으며, 집단 간 근 활성도와 혈액학적 변인의 변화 비교를 위해 공분산분석(ANCOVA)를 사용하였다. 유의수준 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. BFRE의 집단 내 근 활성도와 혈액학적 변인의 변화 비교

BFRE의 집단 내 근 활성도와 혈액학적 변인의 변화를 분석한 결과 <표 3>과 같이 위팔두갈래근의 근 활성도에서는 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 36.84±8.12)보다 적용 후($M\pm SD$ 41.19±7.98) 증가하였으며, 통계적으로 $p<.05$ 수준의 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 수축기 혈압에서는 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 119.67±10.84)보다 적용 후($M\pm SD$ 116.23±11.25) 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 이완기 혈압은 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 84.19±6.42)보다 적용 후($M\pm SD$ 85.23±6.28) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 맥압은 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 94.94±7.12)보다 적용 후($M\pm SD$ 95.92±7.34) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 심박수는 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 68.15±14.34)보다 적용 후($M\pm SD$ 75.12±15.14) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 심박수는 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 68.15)보다 적용 후($M\pm SD$ 75.12) 증가하였

으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 심근산소소비량은 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 8143.38)보다 적용 후($M\pm SD$ 8634.18) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 3. BFRE의 집단 내 근 활성도 및 혈액학적 변인의 변화 비교

Items	BFRE(n=10)		<i>t</i>	<i>p</i>
	Pre-test($M\pm SD$)	Post-test($M\pm SD$)		
BMA	36.84±8.12	41.19±7.98	-4.943	.038
SBP	119.67±10.84	116.23±11.25	2.147	.253
DBP	84.19±6.42	85.23±6.28	-1.143	.485
MAP	94.94±7.12	95.92±7.34	-0.824	.687
PP	36.84±6.54	34.16±9.42	-2.755	.162
HR	68.15±14.34	75.12±15.14	-4.282	.072
DP	8143.38±1984.12	8634.18±2127.98	-4.842	.061

* $p<.05$

BMA: Biceps Muscle Activity(%); 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)

2. HIRE의 집단 내 근 활성도와 혈액학적 변인의 변화 비교

HIRE의 집단 내 근 활성도와 혈액학적 변인의 변화를 분석한 결과 <표 4>와 같이 위팔두갈래근의 근 활성도에서는 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 34.56)보다 적용 후($M\pm SD$ 41.25) 증가하였으며, 통계적으로 $p<.05$ 수준의 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 수축기 혈압에서는 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 114.67)보다 적용 후($M\pm SD$ 112.23) 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 이완기 혈압은 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 82.32)보다 적용 후($M\pm SD$ 84.44) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 평균맥압에서는 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 91.18)보다 적용 후($M\pm SD$ 94.23) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 맥압은 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 33.38)보다 적용 후($M\pm SD$ 30.16) 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 심박수는 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 70.45)보다 적용 후($M\pm SD$ 75.45) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 심근산소소비량은 프로그램 적용 전($M\pm SD$ 8113.25)보다 적용 후($M\pm SD$ 8232.34) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 4. HIRE의 집단 내 근 활성도 및 혈액학적 변인의 변화 비교

Items	HIRE(n=11)		<i>t</i>	<i>p</i>
	Pre-test(M±SD)	Post-test(M±SD)		
BMA	34.56±7.56	41.25±4.21	-5.143	.021
SBP	114.67±11.44	112.23±10.25	1.347	.324
DBP	82.32±7.13	84.44±9.09	-2.140	.248
MAP	91.18±8.73	94.23±9.28	-3.056	.148
PP	33.38±8.28	30.16±6.29	-3.755	.132
HR	70.45±12.28	75.45±17.28	-4.282	.097
DP	8113.25±2321.52	8232.34±2548.54	-2.842	.174

**p*<.05

BMA: Biceps Muscle Activity(%); 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)

3. 집단 간 근 활성도 및 혈액학적 변인의 변화 비교

집단 간의 근 활성도와 혈액학적 변인의 변화를 분석한 결과 <표 5>와 같이 위팔두갈래근의 근 활성도는 BFRE에서 프로그램 적용 전(*M*36.84)보다 적용 후(*M*41.19) 증가하였고, HIRE에서도 프로그램 적용 전(*M*34.56)보다 적용 후(*M*41.25) 증가하였으며, 통계적으로 수준의 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 수축기 혈압에서는 BFRE에서 프로그램 적용 전(*M*119.67)보다 적용 후(*M*116.23) 감소하였고, HIRE에서도 프로그램 적용 전(*M*114.67)보다 적용 후(*M*112.23) 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 이완기 혈압은 BFRE에서 프로그램 적용 전(*M*84.19)보다 적용 후(*M*85.23) 증가하였고, HIRE에서도 프로그램 적용 전(*M*82.32)보다 적용 후(*M*84.44) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 평균동맥압에서는 BFRE에서 프로그램 적용 전(*M*94.94)보다 적용 후(*M*95.92) 증가하였고, HIRE에서도 프로그램 적용 전(*M*91.18)보다 적용 후(*M*94.23) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 맥압은 BFRE에서 프로그램 적용 전(*M*36.84)보다 적용 후(*M*34.16) 감소하였고, HIRE에서도 프로그램 적용 전(*M*33.38)보다 적용 후(*M*30.16) 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 심박수는 BFRE에서 프로그램 적용 전(*M*68.15)보다 적용 후(*M*75.12) 증가하였고, HIRE에서도 프로그램 적용 전(*M*70.45)보다 적용 후(*M*75.45) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 심근산소소비량은 BFRE에서 프로그램 적용 전(*M*8143.38)보다 적용 후(*M*8634.18) 증가하였고, HIRE에서도 프로그램 적용 전(*M*8113.25)보다 적용 후(*M*8232.34) 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 5. 집단 간 근 활성도 및 혈액학적 변인의 변화 비교

Items		Pre-test (M±SD)	Post-test (M±SD)	<i>F</i>	<i>p</i>
BMA	BFRE (n=10)	36.84±8.12	41.19±7.98	1.925	.248
	HIRE (n=11)	34.56±7.56	41.25±4.21		
SBP	BFRE (n=10)	119.67±10.84	116.23±11.25	1.725	.213
	HIRE (n=11)	114.67±11.44	112.23±10.25		
DBP	BFRE (n=10)	84.19±6.42	85.23±6.28	1.248	.342
	HIRE (n=11)	82.32±7.13	84.44±9.09		
MAP	BFRE (n=10)	94.94±7.12	95.92±7.34	3.329	.128
	HIRE (n=11)	91.18±8.73	94.23±9.28		
PP	BFRE (n=10)	36.84±6.54	34.16±9.42	1.843	.229
	HIRE (n=11)	33.38±8.28	30.16±6.29		
HR	BFRE (n=10)	68.15±14.34	75.12±15.14	1.942	.251
	HIRE (n=11)	70.45±12.28	75.45±17.28		
DP	BFRE (n=10)	8143.38 ±1984.12	8634.18 ±2127.98	5.248	.061
	HIRE (n=11)	8113.25 ±2321.52	8232.34 ±2548.54		

BMA: Biceps Muscle Activity(%); 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. 논의

혈류 제한을 결합한 저항도 저항훈련은 고강도 저항훈련과 유사한 근육 비대를 유발할 수 있으며, 대상자의 근육 크기와 근력을 향상시키는 대안적인 훈련 방법이 될 수 있다는 가정 하에 본 연구는 운동선수를 대상으로 위팔두갈래근에 혈류제한 유산소 훈련을 시행하여 근 활성도와 혈액학적 변인에 미치는 영향에 대하여 다음과 같이 논의하고자 한다.

혈류 제한 훈련은 근육량과 근력 등의 골격근 발달을 향상시킬 수 있으며(Iida, Nakajima & Kurano, 2011), 훈련 적용 방법에 따라 지구력의 다양한 전신 효과도 입증되어 가고 있다(Bowman et al., 2019).

이와 관련된 선행연구를 살펴보면, Ramis et al. (2020)은 혈류제한훈련의 효과를 규명하고자 28명의 젊은 성인을 대상으로 고강도 저항훈련과 혈류 제한을 결합한 저항도 저항훈련을 8주 간, 주 3회 팔꿈치 굽힘 운동을 수행하여 근력과 활성도를 비교한 결과, 두 그룹 모두에서 근육 두께와 근 활성도가 동일하게 증가하여 혈류 제한을 결합한 저항도 저항훈련이 근력 및 근 활성도 증가를 위한 방법으로 임상적으로 유용하다는 것을 보고하였으며, Yasuda

et al. (2010)은 혈류제한을 결합한 저항훈련이 가슴 및 상완근육에 대한 근력에 미치는 효과를 조사하기 위해 10명의 젊은 남성을 대상으로 혈류제한을 결합한 저항훈련(IRM 30%)을 2주 동안 주 6일, 1일 2회, 1회 4세트, 총 75회 수행한 결과, 상완 및 가슴 근육의 근육 크기와 IRM 강도의 상당한 증가로 이어진다고 보고하였다. 또한 Yasuda et al. (2011)도 저장도 혈류 제한과 고강도 저항훈련이 근육 적응에 미치는 영향을 규명하고자 40명의 젊은 성인을 대상으로 고강도 저항훈련(IRM 75%), 혈류제한을 결합한 저장도 저항훈련(IRM 30%) 및 두 운동을 결합한 훈련을 6주 동안 주 3일 벤치 프레스 운동을 시행하여 대조군과 비교한 결과, 근력이 고강도 저항운동이 19.9%, 결합운동이 15.3% 개선되었고 혈류제한을 결합한 저장도 저항훈련에서도 8.7% 이상 근력이 개선되었다고 보고하였다.

본 연구에서도 위팔두갈래근의 근 활성도가 두 집단 내에서는 모두 향상되고 집단 간의 차이가 나타나지 않아 선행연구를 지지하는 결과를 도출하였는데 근력증가를 위해 시행되는 고강도의 저항운동은 때때로 적절한 감독 없이 수행될 경우 비실용적이고 심지어 위험할 수 있기 때문에(Haykowsky et al., 1996) 혈류제한을 동반한 저장도 훈련이 근활성도 및 근력을 향상시키는데 대체훈련으로 적용될 수 있을 것이라고 여겨진다.

그리고 혈류제한이 없는 저장도 운동에 비해 혈류 제한 저장도 훈련(IRM 20%)에서 혈압과 심박수가 더 높은 결과 값을 도출하였으며(Takano et al., 2005), 혈류제한이 없는 동일한 운동과 비교하여 저장도 혈류제한(IRM 30%)이 있는 이두박근 컬 훈련을 시행하였을 때 증가된 혈역학적 반응을 보고하였다(Vieira, Chiappa, Umpierre, Stein & Ribeiro, 2013). 이러한 이유로는 혈류제한 커프의 불편함 때문에 저장도 저항훈련 중 인지된 운동의 등급이 높은 것으로 인식하게 되고(Wernbom, J  rrebring, Andreasson & Augustsson, 2009), 신체적 불편은 중추신경계를 자극하여 결과적으로 혈압을 높일 수 있다고 하였다(Chalaye, Devoize, Lafrenaye, Dallel & Marchand, 2013).

이와 관련된 선행연구를 살펴보면, Bazgir et al. (2016)은 저장도 저항훈련과 혈류제한을 결합한 저항훈련의 급성 심혈관 및 혈역학적 변인을 분석하기 위하여 16명의 젊은 성인을 대상으로 저장도 저항훈련(IRM 30%)과 혈류제한을 결합한 저항훈련(IRM 30%)을 중재한 결과, 두 그룹 내에서는 심박수와 동맥압이 유의하게 증가하였으며, 수축기혈압과 이완기혈압은 혈류제한 운동 훈련군에서만 증가하였다. 그러나 두 그룹 간 혈류역학에 관한 매개변수는 차이가 없었다. 또한 Bonorino et al. (2019)의 연구에서도 혈류제한을 동반한 저항 운동에 대한 상지의 소 근육에 혈역학적 반응을 분석하기 위하여 젊은 남성 10명을 대상으로 저장도 저항훈련(IRM 30%)과 혈류제한을 결합한 저항훈련(IRM 30%)을 구분한 후 상지 굽힘 프로토콜(protocol)을 적용하여 급성 효과를 분석한 결과, 수축기혈압과 이완기 혈압 및 평균동맥압은 저장도 저항훈련

군과 비교할 때 혈류제한 저장도 저항훈련군에서 운동 직후 상당히 향상되었으나 회복기간인 15분 이후에는 정상으로 돌아왔는데, 특히 이완기 혈압은 혈류제한 저장도 저항훈련군에서만 회복 기간에서 유의하게 감소되었다. 이러한 결과는 혈류제한 운동군에서 혈역학적 반응의 변화를 촉진하는 데 더 효율적이라는 결론을 내릴 수 있으며, 심혈관 위험이 없음을 의미한다.

본 연구에서도 혈역학적 변인의 매개변수 모두 두 집단에는 유의한 차이를 나타나지 않아 선행연구를 지지하였다. 그리고 May, Brandner & Warmington(2017)의 연구에서도 저항 및 유산소 혈류제한 훈련에 대한 혈역학적 반응을 알아보기 위해 저장도 혈류제한 훈련군(IRM 20%)과 고강도 훈련(IRM 70%)으로 분류한 후 심박출량, 심박수, 수축기 혈압 및 이완기 혈압 등의 혈역학적 매개변수를 분석한 결과, 저장도 혈류제한을 적용하였을 때 혈역학적 변화량이 고강도 저항훈련 보다 감소되어 고 부하 저항 운동이 급기인 특정 임상 집단에게 근력을 향상하기 위한 이점이 있음을 알 수 있다고 보고하였다. 이러한 결과는 혈류제한 저장도 저항훈련이 고강도 저항훈련과 비교할 때 더 낮은 강도와 용량에도 불구하고 근 활성도를 향상시키고 근육의 적응을 유도하지 못하는 군 부전에도 혈역학적 회복을 유도하여 안전하고 유용한 방법임을 시사한다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 8주간 위팔두갈래근 컬(bicep curl)을 이용하여 혈류제한을 적용한 저장도(IRM 30%) 근력운동 유도선수 10명과 고강도(IRM 70%) 근력운동 11명을 대상으로 위팔두갈래근 근 활성도와 혈역학적 변인에 미치는 영향을 규명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

혈류제한 저장도와 고강도 근력 운동 후 위팔두갈래근의 근 활성도는 유의하게 증가한 것으로 나타났으나 혈역학적 변인에는 차이가 나타나지 않았다. 근 활성도의 결과를 종합해보면 혈류제한을 적용한 저장도 저항훈련에서 고강도 저항훈련 효과를 기대할 수 있음을 알 수 있었다.

결론적으로 높은 운동 강도를 사용하지 않고도 근 활성도를 증가시키는 결과를 보았을 때 혈류를 제한한 운동프로그램은 근 기능을 향상시킬 수 있는 대체 가능한 훈련방법이라고 판단되며, 이는 강도 높은 훈련을 실시하는 엘리트 선수들에게 효율성을 제시하는 기초자료뿐만 아니라 고강도 훈련으로 인한 피로와 부상 예방에 도움을 줄 것으로 생각된다. 그리고 추후에는 고령이나 일반인을 대상으로 혈류제한 훈련을 적용한 체력 변화에 대한 연구 설계가 필요할 것이며, 역학적 반응에 관한 논의를 뒷받침하기 위해 다른 변수를 추가하여 다각적인 연구들이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 이우중, 이호성 (2017). 저강도 저항운동의 속도 차이가 비만중년여성의 신체조성, 근활성도 및 근력에 미치는 영향, **한국체육학회지**, 56(4), 575-584.
- Alegre, L. M., Aguado, X., Rojas-Martin, D., Martin-Garcia, M., Ara, I., & Csapo, R. (2015). Load-controlled moderate and high-intensity resistance training programs provoke similar strength gains in young women. *Muscle nerve*, 51(1), 92-101.
- American College of Sports Medicine. (2006). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position stand, Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41, 687-708.
- Androulakis-Korakakis, P., Fisher, J. P., & Steele, J. (2020). The Minimum Effective Training Dose Required to Increase 1RM Strength in Resistance-Trained Men: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 50(4), 751-765.
- Bazgir, B., Valojerdi, M. R., Rajabi, H., Fathi, R., Ojaghi, S. M., Meybodi, M. K. E., & Asgari, A. (2016). Acute cardiovascular and hemodynamic responses to low intensity eccentric resistance exercise with blood flow restriction. *Asian journal of sports medicine*, 7(4), 1-7.
- Bompa, T., & Haff, G. (2009). *Periodization: Theory and Methodology of Training*(5th ed). Human Kinetics.
- Bonorino, S. L., Sá, C. A. D., Corralo, V. D. S., Olkoski, M. M., Silva-Grigoletto, M. E. D., Saretto, C. B., & Resende, A. G. D. (2019). Hemodynamic responses to strength exercise with blood flow restriction in small muscle groups. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 21, 1-10.
- Bowman, E. N., Elshaar, R., Milligan, H., Jue, G., Mohr, K., Brown, P., & Limpisvasti, O. (2019). Proximal, distal, and contralateral effects of blood flow restriction training on the lower extremities; a randomized controlled trial. *Sports Health*, 11(2), 149-156.
- Brown, L. E. & Weir, J. P. (2001). Procedures recommendation I: Accurate assessment of muscular strength and power. *J Exerc Physiol*, 4(3), 1-21.
- Chalaye, P., Devoize, L., Lafrenaye, S., Dallel, R., & Marchand, S. (2013). Cardiovascular influences on conditioned pain modulation. *PAIN*, 154(8), 1377-1382.
- Cook, S. B., LaRoche, D. P., Villa, M. R., Barile, H., & Manini, T. M. (2017). Blood flow restricted resistance training in older adults at risk of mobility limitations. *Experimental Gerontology*, 99, 138-145.
- Earle, R. W. (1999). Weight training exercise prescription. essentials of personal training symposium workbook. *Lincoln. NE: NSCA Certification Commission*. 1-14.
- Folland, J. P. & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*, 37, 145-168.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., & Swain, D. P. (2011). American College of Sports Medicine. American college of sports medicine position stand. quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 43(7), 1334-1359.
- Haykowsky, M. J., Findlay, J. M., & Ignaszewski, A. P. (1996). Aneurysmal subarachnoid hemorrhage associated with weight training: three case reports. *Clin J Sport Med*, 6, 52-55.
- Horiuchi, M. & Okita, K. (2012). Blood flow restricted exercise and vascular function. *Int. J. Vasc. Med*, 17, 2012.
- Iida, H., Nakajima, T., & Kurano, M. (2011). Effects of walking with blood flow restriction on limb venous compliance in elderly subjects. *Clin Physiol Funct Imaging*, 31(6), 472-476.
- Kim, K. S., & Sin, S. H. (2017). Comparing the aspects of isokinetic muscle strength change of the low load resistance training with/without blood flow restriction and the high load resistance training. *Journal of Coaching Development*, 19(3), 75-84.
- Kraemer, W. J. & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 674-688.
- Kumagai, K., Kurobe, K., Zhong, H., Loenneke, J., Thiebaud, R., Ogita, F., & Abe, T. (2012). Cardiovascular drift during low intensity exercise with leg blood flow restriction. *Acta Physiologica Hungarica*, 99(4), 392-399.
- Lixandrao, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceição, M. S., Damas, F., & Roschel, H. (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 medicine*, 48(2), 361-378.
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Marin, P. J., Zourdos, M. C., & Bemben, M. G. (2012). Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol*, 112, 1849-1859.
- Manini, T. M., & Clark, B. C. (2009). Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exercise and sport sciences reviews*, 37(2), 78-85.
- May, A. K., Brandner, C. R., & Warmington, S. A. (2017). Hemodynamic responses are reduced with aerobic compared with resistance blood flow restriction exercise. *Physiological reports*, 5(3), e13142.
- Neto, G. R., Novaes, J. S., Dias, I., Brown, A., Vianna, J., & Cirilo-Sousa, M. S. (2017). Effects of resistance training with blood flow restriction on haemodynamics: a systematic review. *Clin Physiol Funct. Imaging*, 37, 567-574.
- Ramis, T. R., de Lemos Muller, C. H., Boeno, F. P., Teixeira, B. C., Rech, A., Pompermayer, M., & Ribeiro, J. L. (2020). Effects of traditional and vascular restricted strength training program with equalized volume on isometric and dynamic strength, muscle thickness, electromyographic activity, and endothelial function adaptations in young adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(3), 689-698.
- Rocha, E. (2013). Influência da pressão arterial sistólica e pressão arterial diastólica a repercussão nos órgãos alvo. *Rev Factores Risco*, 28(1), 16-9.
- Sociedade Brasileira de Cardiologia. (2016). 7ª Diretriz Brasileira de Hipertensão. *Arq Bras Cardiol*, 107(3), 3:1-103.
- Sugiarto, D., Andriati, A., Laswati, H., & Kimura, H. (2017). 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*, 6, 251-7.
- Sumide, T., Sakuraba, K., Sawakib, K., Ohmurac, H., & Tamurad, Y. (2009). Effect of resistance exercise training combined with relatively low vascular occlusion. *J. Sci. Med. Sport*, 12, 107-112.
- Takano, H., Morita, T., Iida, H., Asada, K., Kato, M., Uno, K., & Nakajima, T. (2005). Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol*, 95, 65-73.
- Takarada, Y., & Ishii, N. (2002). Effects of low-intensity resistance exercise with short interest rest period on muscular function in middle-aged women. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(1), 123-128.
- Vanwyke, W. R., Weatherholt, A. M., & Mikesky, A. E. (2017). Blood flow restriction training: Implementation into clinical practice. *International Journal of Exercise Science*, 10(5), 649-654.
- Vieira, P. J., Chiappa, G. R., Umpierre, D., Stein, R., & Ribeiro, J. P. (2013). Hemodynamic responses to resistance exercise with restricted blood flow in young and older men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(8), 2288-2294.
- Wernbom, M., Järrrebring, R., Andreasson, M. A., & Augustsson, J. (2009). Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load. *J Strength Cond Res*, 23, 2389-2395.
- Yasuda, T., Abe, T., Brechue, W. F., Iida, H., Takano, H., Meguro, K., & Nakajima, T. (2008). Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. *Metabolism*, 59, 1510-1519.
- Yasuda, T., Fujita, S., Ogasawara, R., Sato, Y., & Abe, T. (2010). Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging*, 30, 338-343.
- Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki, M., Ozaki, H., Sato, Y., & Abe, T. (2011). Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *European journal of applied physiology*, 111(10), 2525-2533.