



혈류제한 비선형 주기화 근력트레이닝이 엘리트 선수의 근력 및 등속성 근기능에 미치는 효과

송정란¹ PhD, 이상현¹ MS, 박동호^{1,2,3} PhD

¹인하대학교 스포츠과학과, ²인하대학교 바이오메디컬사이언스학과, ³인하대학교 스포츠아트융합연구소

Effects of Blood Flow Restriction Non-Linear Periodization Strength Training on Muscle Strength and Function in Elite Athletes

Jung-Ran Song¹ PhD, Sang-Hyun Lee¹ MS, Dong-Ho Park^{1,2,3} PhD

¹Department of Kinesiology, Inha University Incheon; ²Department of Biomedical Science, Program in Biomedical Science & Engineering, Inha University, Incheon; ³Institute of Sports & Arts Convergence, Inha University, Incheon, Korea

PURPOSE: To evaluate the effects of resistance exercise with intermittent blood flow restriction (BFR) on the muscle thickness, maximal strength, and isokinetic muscular function (strength, power, endurance) in high school field hockey athletes.

METHODS: The BFR group (n=10, 16.1±1.1 years, 172.8±3.9 cm, 66.2±3.9 kg) and the control (CON) group (n=10, 16.60±1.17 years, 172.5±2.3 cm, 65.7±2.9 kg) participated in the same nonlinear periodic training program, however different weight loading (%RM) was applied depending on whether or not BFR was applied. In this study, the systolic blood pressure was set as the blood flow compression strength, and a BFR prop belt was used. After the 8-week training period was over, the degree of improvement in body composition, 1 repetition maximum (1RM), and isokinetic muscle function among groups was compared to determine the effect of training by blood flow restriction.

RESULTS: The cross-sectional area of the thighs of athletes who applied BFR was significantly increased than that of the CON ($p < .05$). In the isokinetic results, athletes with BFR showed higher 1RM than the CON ($p < .05$). but there were no differences in muscle power and endurance ($p > .05$). In the results of improving the muscle strength (1RM and 60°/sec) of the athletes who applied the BFR, there was no significant difference between the groups in muscle power and muscular endurance.

CONCLUSIONS: Non-linear strength training with BFR might be considered to be an effective method for improving muscle hypertrophy and maximum strength of athletes. The muscle endurance and muscle power method once a week, which was not effective in improving the muscle power and muscular endurance of high school male hockey players.

Key words: Resistance exercise, Blood flow restriction, 1RM, Isokinetic muscular function, Field hockey athletes

서론

근력훈련은 종목 선수들의 운동능력 향상뿐만 아니라 부상 후 회복단계에서의 재활훈련 및 중장년의 건강증진을 위해 매우 중요한 과

정으로써[1], 특히 고강도의 저항성 근력운동은 운동선수뿐만 아니라 건강한 일반인에게도 근력향상 및 근비대에 탁월한 효과를 기대할 수 있다[2]. 그러나 부상 후 재활치료나 근위축이 유발된 노인을 대상으로 실시되는 고강도의 저항성 근력운동은 오히려 관절과 혈압에 부정적

Corresponding author: Dong-Ho Park Tel +82-32-860-8182 Fax +82-32-860-8188 E-mail dparkosu@inha.ac.kr

*이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5B5A07090949)

Keywords 저항운동, 혈류제한, 1RM 최대근력, 등속성 근기능, 필드하키

Received 31 Jul 2022 **Revised** 24 Aug 2022 **Accepted** 25 Aug 2022

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

영향을 줄 수 있기 때문에[3] 위험요인을 최소화하기 위한 방법으로써 혈류제한(blood flow restriction, BFR) 운동이 고안되었다. BFR 운동이란 사지의 기저부를 압박하여 근육으로의 혈류를 제한하면서 낮은 저항도의 운동부하를 이용하여 근력을 향상시키는 방법으로써[4-6], BFR 운동의 적용을 통해 낮은 운동강도에서도 고강도의 근력운동 효과를 기대할 수 있다[4]. 그러므로 BFR 운동은 신체 혹은 건강의 이유로 고강도의 근력운동을 수행할 수 없는 사람들, 즉 부상 후 회복 및 재활단계에 있는 대상자와 높은 중량의 근력운동 참여가 제한되는 노인들에게 근위축(muscle atrophy)을 예방하고 근력증가를 위한 방법으로 제안되고 있다[6].

최근까지도 BFR 운동과 관련된 선행연구들에서는 다양한 BFR 수준(압력)과 부하량(%1RM)에 따른 다양한 운동효과를 보고하고 있다. 그 중 Takarada et al. [7] 및 Laurentino et al. [8]은 100 mmHg의 압력으로 국부적 BFR을 적용한 후 1RM의 30% 운동강도로 6주 동안 근력운동을 실시했을 경우, 근육의 크기 및 최대근력이 BFR을 적용하지 않았던 통제집단보다 더 크게 증가했음을 보고했다. 반면, Abe et al. [9]은 앞선 Takarada et al. [7] 및 Laurentino et al. [8]의 운동강도보다 낮은 강도(1RM의 20% 강도)로 1일 2회 총 12일 동안 수축기 혈압 압력으로 BFR 근력운동을 실시한 후 8.5%의 근비대 증가를 관찰하였으며, Joshua et al. [10]은 젊은 대상자들을 대상으로 6주 동안의 50% 1RM의 운동강도로 150 mmHg의 BFR 운동을 실시한 결과에서 14%의 근력증가를 보고하였다. 또한 Takarada et al. [11]은 수축기 혈압의 압력으로 30-50% 1RM의 운동강도로 15회/1세트×3세트씩 주 2회 총 4개월간 BFR 근력훈련을 실시한 결과에서 유의한 차이는 아니지만 혈류를 제한한 모든 운동강도에서 20%의 근력증가를 관찰하였으며, 이는 80% 1RM 고강도 근력운동 효과와 동일한 것으로 보고하는 등 선행연구별로 적용한 압력강도 및 중량강도에 따라 다양한 효과가 있음이 보고되고 있다. 이와 달리 BFR의 훈련 효과가 없었던 선행연구 결과[12,13]도 제시되고 있다. 이러한 불일치한 결과는 성별, 연령별(젊은 사람 vs. 노인), 운동형태(저항 vs. 유산소) 등 다양한 요인에 따라 유발될 수 있으나 특히 BFR 훈련 처치 기간, 주당 빈도, 강도 및 양 등이 밀접한 영향을 줄 수 있다[14].

일반적으로 근력운동 훈련의 효과로 나타나는 근력의 향상은 근육의 비대(hypertrophy)와 근신경계의 적응으로 그 원인이 설명된다[15]. 그중 BFR 운동은 근활동 중 큰 운동단위와 연관된 속근섬유의 신호 전달 단백질 발현 활성도를 지근섬유보다 3-4배 높게 유도함으로써 속근의 동원비율을 증가시킨다[16]. 또한 BFR 운동 중 근육에서 발생하는 활동전위(EMG)는 혈류를 제한하지 않았을 때보다 유의하게 증가하며[17], 특히 20% 1RM의 낮은 중량부하에도 불구하고 BFR을 처치함으로써 80% 1RM에서의 EMG와 유사한 것으로 보고되었다[18]. 이에 Kim et al. [19]은 BFR 운동이 속근섬유의 동원율을 증가시키는 근

활성을 유도하기 때문에 BFR의 유무 및 BFR의 정도에 따라 발생하는 최대토크 및 회당 총일량이 변화할 수 있음을 가정하고 BFR 수준에 따른 일회성 등속성 근기능에서의 최대토크 및 총일량을 비교하였다. 그 결과, BFR 운동이 초과된 최대근력을 유도함으로써 최대근력 및 파워훈련이 필요한 스프린팅, 수직점핑, 파워리프팅과 같은 기능적 근력훈련에 BFR 운동을 활용할 가치가 있다고 제안한 바 있다[19].

운동선수의 경기력 향상을 위한 대표적인 근력트레이닝 방법으로는 근력과 근파워 향상을 극대화할 수 있는 주기화 트레이닝 방법이 있으며, 주기화는 크게 선형(linear) 주기화와 비선형(nonlinear) 주기화로 구분된다. 선형 주기화는 1-4주간의 중주기(mesocycle)에 걸쳐 훈련 기간이 경과되는 과정에서 점진적으로 훈련량과 강도를 증가시키는 방법을 의미한다. 이 방법은 일반인뿐만 아니라 선수들을 대상으로, 그 동안 BFR의 장기간 처치가 근력이나 근비대 개선에 미치는 효과를 검증하는 전형적인 방법으로 사용되었다. 하지만, 시합을 준비하는 선수들은 근력뿐 아니라 종목 특성에 따라 근파워와 근지구력 등 다양한 요소의 개선이 동시에 요구되기에 비선형 주기화방법을 활용하는 것이 타당하다. 비선형 주기화란 운동강도나 훈련량이 주간 또는 일일 단위(microcycle)로 변화하는 방법으로, 운동강도와 운동량이 반복적인 짧은 주기로 변화하기 때문에 근신경 체계에 더 높은 스트레스를 유발시키며, 이를 통해 더 높은 운동수행력 증가를 기대할 수 있다[20]. 하지만, 근조직에 충분한 적응 시간 부여가 어렵기 때문에 근피로와 근통증이 유발될 수 있는 단점이 있다[20]. 따라서 전문운동선수를 대상으로 비선형주기화 트레이닝방법에 기초하여 선수들의 근피로와 근통증을 최소화할 수 있는 방안으로, BFR 방법을 함께 적용할 경우 물리적으로 낮은 저항 강도에서의 훈련을 통해 근조직 내 물리적 손상 및 피로 누적을 최소화할 뿐만 아니라 단기간의 효율적인 근력훈련 방법으로써 운동선수를 위한 BFR 방법을 적용한 비선형 주기화 근력훈련 프로그램을 제안할 수 있을 것이다.

지금까지의 BFR 근력운동의 장점으로써 일반적인 근력운동보다 낮은 물리적 운동강도에서 진행되기에 근조직 내 조직손상 정도 및 근신경계의 피로도 또한 저하되고[21], 이는 선수들의 근력운동에 의한 부상을 최소화할 수 있는 적합한 운동방법이 될 수 있다. 하지만 선행연구들에서는 낮은 저항도 부하로 근력훈련이 가능하다는 장점[6]을 바탕으로, 노인[18] 혹은 재활방법[22,23]으로써의 효과 및 일회성 운동 효과에 대한 근기능 변화[19]에 대한 결과들은 많이 보고되었지만 선수들을 대상으로, 8주 이상의 장기간 훈련프로그램을 적용한 후 근기능의 효과를 비교한 연구는 매우 드물 뿐만 아니라, 현재까지 비선형 주기화 BFR 훈련을 적용한 연구는 전무하다. 더욱이 BFR 비선형적 주기화훈련 프로그램을 적용한 후 최대근력뿐만 아니라 근파워, 근지구력의 변화를 동시에 관찰한 연구는 현재까지 찾아 볼 수 없다.

이에 본 연구는 고등학교 남자 필드하키 선수를 대상으로, 주당 4회

이상의 BFR 비선형적 근력훈련 프로그램 적용 여부(resistance training with BFR vs. resistance training without BFR)에 따른 등장성 최대근력(1RM) 및 등속성 근기능(근력, 근파워, 근지구력)의 변화에 미치는 효과를 검토하고자 한다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 I 광역시 소재 고등학교 필드하키팀 20명을 대상으로 실시하였다. 20명 중 BFR 근력훈련 프로그램을 적용한 실험집단 10명과 BFR을 적용하지 않은 근력훈련 프로그램의 통제집단 10명으로 구분하여 진행하였다. 사전에 지도자와의 협의를 통해 근력 트레이닝 프로그램의 내용 및 과정, 기대효과 등에 대해 설명한 후 최종적으로 팀 훈련일정을 고려하여 참여 선수 인원과 프로그램 운영 일정을 결정하였다. 대상 선수들은 본 프로그램 참여 전 연구내용과 훈련과정에 대한 설명을 듣고 참여 동의서를 받은 후 훈련프로그램에 참여하도록 하였다. 본 훈련프로그램은 하계 팀훈련 중 근력훈련 프로그램으로 진행되며, 아울러 대상자들의 사전 및 사후 체력 측정은 I 광역시 체육회 스포츠과학컨디셔닝센터내에서 진행하였다.

2. 실험 설계

본 연구의 모든 절차는 다음의 Table 1과 같다. 사전 선수들의 체성분검사와 함께 1RM 최대근력, 등속성 근기능검사(근력 60%/sec, 근파워 180%/sec, 근지구력 240%/sec)를 진행하였다. 이후 총 8주 동안의 근력훈련 프로그램을 진행하였으며, 두 집단 간 모든 팀훈련 프로그램은 동일하게 적용하였다. 근력훈련 프로그램 중 혈류제한방법의 적용 여부에 따라 중량과 횟수를 집단별 차이를 두어 실시하였다.

3. 측정방법 및 조사도구

1) 체성분검사

본 연구에서는 모든 대상자의 체성분(body composition) 검사를 위하여 임피던스 방식의 체성분분석기(Inbody 4.0, Korea)를 이용하여 체중(kg), 체지방률(%)을 측정하였다. 아울러 선수들의 근질량 변화를 알아보기 위하여 혈류제한에 적용되는 대퇴 부위(대둔근이 접히는 부

분 바로 아래 대퇴부)의 둘레(cm)를 줄자를 이용하여 측정하였다.

2) 1RM (Leg-press, Squat)

선수들은 운동강도 설정을 위하여 선정된 저항운동 종목들에 대한 등장성 최대근력(1RM)을 측정하였다. 1RM 측정 전 모든 선수들에게 가벼운 중량으로 6-10회 정도의 준비운동을 실시한 후 충분한 휴식을 취하도록 하였다. 이후 최초 자신의 체중 1/2-1/3 중량을 기준으로 2회 이하로 들어 올릴 수 있는 무게를 선정하여 측정을 실시하였다. 최대 반복횟수가 3회 이상이면 대상자의 느낌 및 관절 이동속도를 고려하여 0.5-5.0 kg까지 중량을 증가시켜 다시 실시토록 하며, 충분한 휴식시간(5분 이상)을 두고 대상자의 느낌과 몸 상태를 물어 할 수 있다는 의지를 표명할 경우 실시하였다. 최종적으로 선수들의 부상 방지를 위하여 5회 미만 실시한 중량을 바탕으로 1RM 추정식을 이용, 선수들의 1RM을 산출하였다.

$$1RM = \text{Weight} + W1$$

$$W1 = \text{Weight} \times 0.025 \times \text{Repetition}$$

3) 등속성 근기능검사

슬관절의 굴곡/신전 운동에 대한 근기능 측정은 Cybex 770 (Lumax Corporation, USA)을 사용하였다. 모든 대상자는 100%의 노력으로 최대 힘을 발휘할 수 있도록 사전 교육을 실시하였으며, 측정 절차 등을 자세하게 설명하였다. 측정 전 하체 무릎관절 관련 준비운동을 위하여 자전거 운동을 10분간 실시하였고, 준비운동 이후 대상자들은 앉은 자세에서 하지의 신전 및 굴곡력 측정 과정 중 다른 신체부위가 움직여 외력이 발생하지 않도록 가슴 및 대퇴 부위를 고정하였다. 이때 대퇴부위에 대한 강한 압박으로 인해 추가적인 혈류제한 효과가 발생할 수 있기 때문에 대퇴부위에 대한 벨트 압박은 무릎관절이 축(axis)을 벗어나지 않을 정도만으로 고정하였다. 무릎관절의 운동범위(range of motion, ROM)는 완전히 폼을 때를 0°로 정의한 후 굴곡각 100°까지로 고정하였다. 등속성 근력측정은 60%/sec와 180%/sec에서 각각 3회와 5회의 굴곡과 신전운동을 실시한 후 최고의 신전력 수치로 평가하며, 피크토크 발현각도는 피크토크가 발생하는 각도로 선정하였다. 또한 근지구력은 240%/sec의 부하각속도에서 총 26회의 굴곡 신전 반복운동을 통해 총 일량(total work) 및 피로지수(fatigue index)에 대한 결과를

Table 1. Pre-and post-measurement items and periods

	Category	Content
Pre-test	Anthropometric	Inbody (weight, % fat), thigh circumference measures
	1RM strength	Leg press, squat
	Isokinetic muscle function	Muscle strength (60%/sec), power (180%/sec), endurance (240%/sec) of knee joint
Muscular training program	8 weeks	BFR-group (10): nonlinear muscular training with BFR CON-group (10): nonlinear muscular training without BFR
Post-test		Same with pre-test

Table 2. Nonlinear periodization training program by groups

Day of week	Program / rest (between Set)	BFR group	Control group
Mon	Hypertrophy / 60 sec	50%RM×10 R×3 set	70%RM×10 R×3 set
Tues	Endurance / 120 sec	20%RM×30 R×3 set	40%RM×30 R×3 set
Thurs	Strength / 90 sec	70%RM×2 R×3 set	90%RM×2 R×3 set
Fri	Power / 180 sec	30%RM×10 R×3 set	50%RM×10 R×3 set

기록하였다.

4) BFR 비선형 주기화 근력훈련 프로그램

본 연구에서는 비선형 주기화 근력훈련 프로그램을 기본으로 BFR 방법을 적용하는 방식으로 총 8주간 프로그램이 진행되었다. BFR이 적용된 실험집단과 적용하지 않은 통제집단의 근력 훈련 프로그램은 근력, 근파워, 근지구력 일정은 동일하게 구성하였으며, 다만, BFR 여부에 따라 중량부하 및 횡수만을 달리하여 구성하였다. 특히, 비선형주기화 훈련프로그램으로써 근력뿐만 아니라 전이기로써 파워, 지구력 훈련까지 포함하였다. BFR 압력 강도는 국내외 BFR 운동방법에 대한 선행연구 결과들을 바탕으로 운동선수의 경기력 향상을 위한 근기능 발달에 가장 효율적인 BFR 방법(압력강도)을 도출하고자 하였다. 그 중 Kim et al. [24]는 수축기 혈압(150% systolic blood pressure (SP), 200% SP 압박강도를 통한 활성산소 등의 차이를 비교한 결과에서 유의한 근 손상이 나타나지 않았다고 하였다. 이에 본 연구에서는 대상자들이 선수라는 점을 고려하여 수축기 혈압(100% SP)에 해당하는 BFR 압력을 설정한 후 최대근력, 근파워, 근지구력훈련프로그램을 구성하였다.

혈류를 제한하는 방법으로, BFR 운동 기구인 KAATSU Master (KAATSU Global Inc., USA)를 이용하였다. KAATSU Master는 공압펌프를 통해 공기압벨트 내 압력을 증가시킴으로써 압박강도를 증가시키는 장치로써 내부압력에 대한 측정을 통해 압박강도수준을 조절할 수 있다. 본 연구에 참여한 하키선수들의 경우 주로 하체위주의 근력 훈련을 진행하기 때문에 본 연구에서도 팀요청에 따라 무릎관절 움직임 향상을 위한 근력훈련 프로그램을 구성하였으며, 이에 따라 BFR 부위도 하체(대퇴)에 제한하여 적용하여 Leg-press와 Squat 2가지 종목에 대한 프로그램을 진행하였다. 사전 실험집단 선수들의 혈압을 측정 한 후 개인별 100% 수축기 혈압압력을 적용하여 순차적으로 훈련에 참여하도록 하였다. 구체적인 집단별 훈련 프로그램은 다음의 Table 2와 같다.

근력훈련 프로그램은 비선형 주기화 훈련방법을 기초로 구성하였으며 주 4일의 근력훈련 중 BFR 압력은 100%SP로 유지한 채 중량부하를 달리하여 최대근력(50-70%1RM, 2-10회/세트, 3세트), 근파워(30%1RM, 10회/세트, 3세트), 근지구력(20%1RM, 30회/세트, 3세트) 프

Table 3. Characteristics of participants

Variables	n	Group	Pre	Post	p
Age (yr)	10	CON	16.60±1.17		.339
	10	BFR	16.10±1.10		
Height (cm)	10	CON	172.45±2.33	172.66±2.47	T: .265 G: .857 T×G: .488
	10	BFR	172.79±3.85	172.84±3.81	
Weight (kg)	10	CON	65.73±2.93	66.72±2.52*	T: .013 G: .157 T×G: .805
	10	BFR	66.19±3.91	67.07±4.95	
Fat (%)	10	CON	12.65±2.45	13.59±2.64***	T: .000 G: .630 T×G: .877
	10	BFR	12.08±2.67	13.07±2.27***	

Data are means ±SD.

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ vs. pre-CON, # $p < .05$, ## $p < .01$, ### $p < .001$ vs. pre-BFR.

로그램을 포함하였다. 다만, 학생선수들의 방과 후 훈련시간 부족에 따른 지도자 요청으로 근력훈련 시간은 1인당 30분 정도로 운영하였으며, 모든 선수들의 근력훈련이 종료된 후 팀일정에 따른 기술훈련에 참여하도록 하였다.

4. 통계처리

측정한 모든 변인들은 SPSS 23.0 통계프로그램을 이용하여 평균과 표준편차로 표시하였다. 훈련방법(실험집단, 통제집단)과 시기(사전, 사후)에 따른 측정변인들의 차이를 알아보기 위하여 이원변량분석(two-way mixed measured ANOVA)을 실시하였다. 시기에 대한 차이가 있을 경우 사후분석을 위하여 집단별 paired t-test를 실시하였다. 본 연구의 모든 통계적 유의수준(α)은 .05로 설정하였다.

연구 결과

1. 체격 및 신체 조성

체지방률은 두 집단 모두 사전 대비 사후 유의한 증가를 보였지만 시기와 집단에 대한 유의한 상호작용은 나타나지 않았다($p > .05$). 반면, 체중은 두 집단 모두 증가하는 경향을 보였지만 통제집단에서만 유의한 체중증가를 보였으며($p < .05$), 집단과 시기에 대한 유의한 상호작용 결과는 없는 등($p > .05$)이었다.

2. 대퇴둘레 및 하지 레그프레스와 스쿼트 1RM 비교

왼쪽과 오른쪽 대퇴 둘레의 경우 실험집단과 통제집단 모두 증가하는 경향을 보였지만 통제집단보다 실험집단에서 더 큰 증가가 나타났으며, 왼쪽($p > .001$) 및 오른쪽($p > .001$) 모두 집단과 시기에 대한 유의한 상호작용 효과가 나타났다.

Leg press와 squat 모두 통제집단보다 BFR 적용 실험집단의 1RM 평

Table 4. Thigh circumference and 1RM comparison between groups

Variables	n	Group	Pre	Post	p
Right thigh circumference (cm)	10	CON	53.36±3.52	54.40±3.58	T:.000
	10	BFR	53.51±3.91	55.90±3.68	G:.621 T×G:.000
Left thigh circumference (cm)	10	CON	53.18±3.36	54.11±3.30	T:.000
	10	BFR	52.53±3.83	55.18±3.62	G:.896 T×G:.000
Leg press (kg)	10	CON	69.70±5.56	74.30±6.86	T:.000
	10	BFR	70.20±6.29	78.00±6.73	G:.464 T×G:.006
Squat (kg)	10	CON	66.60±4.72	72.80±5.00	T:.000
	10	BFR	66.00±4.99	75.61±4.88	G:.618 T×G:.000

Data are means ± SD.

군 증가가 더 크게 나타났으며, 통계적으로도 시기와 집단에 대한 유의한 상호작용효과가 나타났다($p < .05$). 즉, 두 집단 모두 근력훈련 프로그램 참여를 통해 좌우 대퇴위가 증가했지만 BFR 방법을 적용한 선수들의 대퇴위가 더 크게 증가했음을 확인할 수 있었다.

3. 등속성 근기능 비교

무릎 관절에 대한 등속성 최대토크(60°/sec)에 대한 최대근력 변화를 비교한 결과, 좌우 신근과 굴근 모두 시기에 대한 주효과뿐 아니라 상호작용효과가 있는 것으로 나타났다($p < .05$). 이는 BFR이 적용된 8주간의 근력 훈련은 전통적인 근력 훈련에 비해 선수들의 최대근력을 보다 크게 향상시켰음을 의미한다.

한편, 두 집단 모두 등속성 근파워(180°/sec)와 근지구력(240°/sec) 모두 시기의 주효과뿐 아니라 상호작용 효과는 나타나지 않았다($p > .05$).

논 의

8주간의 비선형 주기화 혈류제한 근력훈련 프로그램의 참여에 따른 신체조성과 대퇴둘레의 비교에서, 체지방률과 체중은 집단 간 유의한 차이가 없었지만 왼쪽과 오른쪽 대퇴둘레는 유의한 상호작용 효과가 나타났다. 즉, 혈류제한방법을 적용시킨 선수들의 대퇴둘레가 더 크게 증가함으로써 효과적인 근비대가 발생했음을 확인할 수 있었다.

Takarada et al. [7]는 럭비선수를 대상으로 8주간 BFR (196 mmHg, 50%1RM, 10회 4세트) 훈련을 통해 근비대의 유의한 증가를 보고하였으며, 이보다 낮은 강도(20%1RM, 혈압압력, 2회/1일)에서 12일간 BFR 훈련을 실시한 Abe et al. [9] 또한 8.5%의 근비대 증가를 보고하는 등 본 연구에서의 BFR 적용 선수들의 대퇴근육 둘레의 증가 또한 앞선 선행연구와 동일한 결과로 판단된다.

일반적으로 근비대는 최소 8주 이상의 훈련이 요구된다고 제안된다

[1]. 본 연구는 이러한 최소한의 기간에 포함되기 때문에 실험집단과 통제집단 모두 대퇴둘레의 유의한 증가했던 것으로 생각된다. 특히, BFR 훈련방법을 적용한 실험집단의 경우 더 높은 둘레증가를 보였던 것은 8주간 지속적인 단백질 합성의 증가[25] 또는 세포부종을 통한 단백질 분해(proteolysis)의 감소[26]가 더 크게 나타났기 때문으로 판단된다.

저강도 BFR 저항 운동은 고강도 저항운동과 유사하게 단백질 합성 증가 또는 단백질 분해 감소를 통한 근 비대는 유발할 수 있다. 하지만, 선행 연구들[17-19,24]에서 보고된 바와 같이, BFR 저항 운동은 그 강도에 따라 고강도 저항운동에 비해 근 활성뿐만 아니라 세포부종, 저산소증 등을 더욱 크게 유발함으로써 mTOR 복합체 1의 신호전달 개선을 통한 근단백질 합성 증가[27] 또는 mitogen-activated protein kinase (MAPK)의 신호전달을 통한 단백질 분해 감소[26]를 통한 근 비대를 유발할 수 있다. 그 예로, Takarada et al. [18]의 연구에서는 20% 1RM의 낮은 중량부하에도 불구하고 혈류를 제한함으로써 80% 1RM에서의 EMG와 유사한 것으로 보고된 바 있고, 이 연구에서는 20-70% 1RM BFR 강도로 주 4회 처치하였기에 근 단백질 합성 증가 또는 분해 감소를 더욱 크게 자극하였을 것으로 판단한다.

1. 근력 및 등속성 근기능

대부분의 선행연구에서는 엘리트 운동선수를 대상으로 BFR 훈련 방법을 적용할 경우, 근비대뿐만 아니라 최대근력도 함께 향상되는 것으로 보고되고 있다[11,28]. Sattler et al. [20]은 BFR을 적용한 선수들에게서 하체의 둘레증가와 함께 1RM의 유의한 증가를 보고하였으며, Abe et al. [9]도 짧은 기간임에도 주별 높은 빈도의 BFR 훈련 참여를 통해 근비대와 함께 1RM이 향상된다고 하였다. 본 연구의 결과에서도 BFR을 적용한 선수들에게서 유의하게 높은 대퇴부 둘레증가와 함께 Leg press, Squat 1RM 또한 통제집단보다 더 높은 증가를 보임으로써 앞선 선행연구들의 결과와 동일하다. 다만, BFR을 적용하지 않은 선수들에서도 대퇴둘레의 유의한 증가와 함께 1RM 또한 유의하게 증가한 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 적용한 8주간의 비선형 주기화 훈련 프로그램이 BFR 유무와 상관없이 선수들의 근비대 증가에 효과가 있었으나 BFR 훈련방법을 적용한 선수들의 근비대가 더 크게 개선됨으로써 BFR 방법이 전통적인 저항훈련 보다 근비대 및 근력 증가에 효율적인 것으로 나타났다.

한편, 본 연구에서는 BFR 비선형 주기화 근력훈련 방법을 통한 등속성 근기능(최대토크, 근파워, 근지구력)의 효과를 알아보기 위하여 등속성 근기능 검사를 실시하였다. 그 결과 BFR 방법을 적용한 선수들의 60°/sec 최대토크 또한 통제집단 선수들보다 더 높은 증가를 보임으로써 Takarada et al. [11]의 연구결과와 동일하다. 앞선 Leg press 및 Squat 1RM 최대근력뿐만 아니라 등속성 근기능 검사결과에서도 BFR 방법을 적용한 근력훈련 프로그램 참여가 일반적인 근력훈련 방법보

Table 5. Isokinetic muscle strength (60°/sec), power (180°/sec), and endurance (240°/sec)

Angular velocity	Variables	Group	Pre	Post	p
60°/sec knee extensor peak torque (N·m)	D	CON	194.80±7.94	205.10±6.03	T: .000
		BFR	194.30±4.95	220.70±11.17	G: .032
					T×G: .000
	ND	CON	191.60±7.14	203.32±6.50	T: .000
		BFR	193.80±3.88	213.40±6.93	G: .032
					T×G: .000
60°/sec knee flexor peak torque (N·m)	D	CON	113.00±6.31	118.11±5.30	T: .000
		BFR	112.40±6.33	124.18±6.59	G: .333
					T×G: .000
	ND	CON	109.90±3.87	116.65±4.40	T: .000
		BFR	110.25±6.43	123.40±6.74	G: .161
					T×G: .000
180°/sec knee extensor peak torque (N·m)	D	CON	261.10±11.69	263.84±9.65	T: .209
		BFR	261.80±10.79	263.40±11.02	G: .974
					T×G: .743
	ND	CON	257.30±12.22	258.00±12.46	T: .260
		BFR	257.00±13.16	259.04±12.21	G: .950
					T×G: .582
180°/sec knee flexor peak torque (N·m)	D	CON	161.15±15.21	162.46±15.51	T: .217
		BFR	160.16±19.60	161.62±15.88	G: .909
					T×G: .965
	ND	CON	156.30±19.31	158.70±16.79	T: .845
		BFR	157.84±19.41	159.39±20.23	G: .925
					T×G: .973
240°/sec knee extensor total work (watt)	D	CON	660.30±65.87	661.50±73.30	T: .762
		BFR	659.70±69.71	660.60±64.53	G: .981
					T×G: .965
	ND	CON	648.20±66.40	649.90±68.21	T: .398
		BFR	647.50±68.59	650.96±70.15	G: .996
					T×G: .776
240°/sec knee flexor total work (watt)	D	CON	431.74±31.53	432.00±32.19	T: .979
		BFR	426.60±35.99	426.16±27.05	G: .694
					T×G: .914
	ND	CON	419.77±35.39	421.05±42.03	T: .803
		BFR	420.90±33.62	421.33±29.74	G: .962
					T×G: .895

Data are means ± SD.
D, dominant; ND, Nondominant.

다 근력향상에 효율적이었음을 확인할 수 있었다.

선행연구 중 Tanimoto et al. [29]은 BFR으로 인해 산소가 결핍되며, 그로 인해 산소의 활용이 요구되지 않고 즉각적인 근력발현에 관여되는 속근섬유의 동원율이 증가된다고 하였다. Yasuda et al. [30] 또한 근생검법을 통해 BFR 근력운동 후 속근섬유의 둘레가 증가한 것으로 보고하는 등 BFR 적용 훈련방법을 통해 근파위의 향상도 충분히 가능할 것으로 보고된 바 있다.

하지만 본 연구의 등속성 최대근력 이외의 근파위를 대변하는 180°/sec에서의 최대토크 그리고 근지구력을 대변하는 240°/sec에서의 총일량 결과에서는 사전 대비 사후 두 집단 모두 유의한 변화가 관찰되지 않

았으며, 이는 BFR 방법을 통해 근지구력 향상을 보고한 선행연구들의 결과[11,28]와는 차이가 있다. 또한 BFR 근력운동을 통한 민첩성 및 5 m 스프린트 기능 향상[19,28]을 보고한 선행연구들과도 차이가 있었다.

앞선 연구들에서 적용한 BFR 방법들은 중량, 혈류압박강도, 휴식시간, 세트, 빈도 등 매우 다양한 훈련방법들이 적용되었음에도 대부분의 연구결과에서 근비대 및 최대근력 혹은 등속성 최대토크의 향상결과가 보고되었다. 반면 근비대 및 근력 이외의 BFR 방법이 선수들의 근기능 향상에 효율적이었음을 보고한 선행연구들[11,28]과 BFR 방법이 낮은 수준의 근육동원을 유발하기 때문에 오히려 빠른 근수축 스피드가 요구되는 운동종목 선수들에게는 비효율적인 방법[31]이 될 수 있

다는 보고들도 존재한다. 이는 BFR을 이용한 저항운동은 근피로도 및 강직도를 높일 수 있으며, 이와 함께 근피로가 유발되면 근수축력이 감소되어 수축시간이 증가되거나 지구력 비율이 높아질 경우 스프린트와 같은 스피드 기록감소를 초래한다고 제안하고 있다[32]. 하지만, 주기화 트레이닝방법이 선수들의 근파워 또는 지구력 향상에 더 효과적임에도 불구하고[33] 두 집단 모두 근력 개선은 나타났으나 근파워 및 근지구력 모두에서 유의한 차이가 나타나지 않았다는 점에서 아마도 1주일 1회의 각각의 근파워 및 근지구력 훈련이 선수들의 근파워나 지구력 향상에 크게 도움을 주지 못한 낮은 빈도의 운동참여에서 비롯된 것으로 판단된다.

Abe et al. [34]은 대학 육상 선수를 대상으로 저부하 BFR 훈련(20%1RM, 15회/세트, 3세트, 30초 휴식)을 통해 근비대 및 1RM의 증가와 함께 10 m 가속능력, 30 m 스프린트 시간 등이 긍정적으로 향상되었음을 보고하였다. 그 외에도 BFR을 통해 향상된 근기능은 5 m 스프린트, 민첩성, 20 m 왕복운동달리기와 같은 경기력 평가 체력평가에서도 향상된 결과로 나타나는 등[31] BFR 훈련을 통해 향상된 근기능이 다른 운동능력으로 전이되는 연구결과가 보고되었다. 운동선수의 근력발달은 종목 선수의 경기력 향상을 위한 기술체력으로 전이되는 것이 가장 바람직한 목표이자 결과이다[28]. 선수들의 경기력에 영향을 주는 근파워와 근지구력 역시 최대근력의 전이를 통해 가능하기 때문에 본 연구에서도 BFR 비선형 주기화 근력훈련 프로그램 참여를 통해 선수들의 최대근력 향상과 함께 향상된 최대근력의 근파워, 근지구력으로서의 전이를 함께 관찰하고자 하였다. 하지만 등속성 근파워와 근지구력의 모든 결과에서 집단 간 차이가 없었던 것과 더욱이 집단 내 시기에 따른 향상도에서도 유의한 차이가 나타나지 않았던 것은 BFR 처치유무와 무관하게 본 연구에서 처치된 비선형 주기화 근력훈련프로그램이 선수들의 근력을 기능적 체력요인으로 충분히 전이시키지 못했기 때문으로 판단된다.

결론

본 연구결과를 종합해 볼 때, BFR을 적용한 비선형적 근력훈련은 선수들의 근비대와 최대근력(1RM, 등속성 최대근력) 향상에 효과적인 방법인 것으로 판단되지만 BFR을 적용시킨 비선형 주기화방법으로써 압력강도를 동일하게 유지한 채 부하중량(kg)만을 감소시킨 주당 1회씩의 근지구력과 근파워 훈련프로그램은 고등학교 남자하키선수들의 근파워와 근지구력 향상에 효과적이지 않았다. 특히, 8주간의 훈련기간이었음에도 불구하고 BFR의 적용 유무와 관계없이, 선수들의 향상된 최대근력이 근파워와 근지구력으로서의 전이가 발생되지 않았다. 차후 연구에서는 BFR 처치 유무뿐 아니라 전통적인 근력 훈련에 BFR을 혼합한 비선형주기화 근력향상프로그램에 대한 효과검증이 필

요할 것으로 생각된다.

CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: J Song, D Park; Data curation: J Song, S Lee; Formal analysis: S Lee; Funding acquisition: J Song; Methodology: J Song; Writing - original draft: J Song.

ORCID

Jung-Ran Song <https://orcid.org/0000-0002-4883-5942>
Sang-Hyun Lee <https://orcid.org/0000-0002-5639-0437>
Dong-Ho Park <https://orcid.org/0000-0003-1863-0652>

REFERENCES

1. American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22:265-74.
2. Baechle TR, Earle RW. *Essentials of strength training and conditioning: national conditioning association.* 2nd. 2000; Champaign, IL: Human Kinetics.
3. Nakamura N, Nemoto I, Koyama Y, Kuroda Y. The study of safety of resistance training by continuous measurement of blood pressure in middle aged-men. *Descente Sports Sci.* 1998;19:104-15.
4. Takarada Y, Ishii N. Resistance training under restricted blood flow condition. *J Health Phys Educ Recreat.* 1998;148:36-42.
5. Clark BC, Fernhall B, Ploutz-Snyder LL. Adaptations in human neuromuscular function following prolonged unweighting Skeletal muscle contractile properties and applied ischemia efficacy. *J Appl Physiol.* 2006;101:256-63.
6. Kubota A, Sakurada K, Swaki K, Smide T, Tamura Y. Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40:529-34.

7. Takarada Y, Tsuruta T, Ishii N. Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. *Jpn J Physiol.* 2004;54:585-92.
8. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H. Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(3):406-12.
9. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns CF, et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *Int J KAATSU Training Res.* 2005;1:6-12.
10. Joshua S, Jack S, Jamie FB. The efficacy of blood flow restricted exercise: a systematic review & meta-analysis. Human Performance and Health Research Laboratory, University of Guelph; Canada 2015.
11. Takarada Y, Ishii N, Naokata T. Effects of low-intensity resistance exercise with short interest rest period on muscular function in middle-aged women. *J Strength Cond Res.* 2002;16:123-8.
12. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Blood flow restricted exercise for athletes: a review of available evidence. *J Sci Med Sport.* 2016;19(5):360-7.
13. Martín-Hernández J, Marín PJ, Menéndez H, Ferrero C, Loenneke JP, et al. Muscular adaptations after two different Volumes of blood flow-restricted training. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23(2):e114-20
14. Takada S, Okita K, Suga T, Omokawa M, Norita N, et al. Blood flow restriction exercise in sprinters and endurance runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(3):413-9.
15. Del Balso C, Cafarelli E. Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training. *J Appl Physiol.* 2007;103(1):402-11.
16. Summer BC, Bethany GM, Katherine EL. Neuromuscular function after a bout of Low-load blood flow-restricted exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(1):67-74.
17. Karabulut M, Cramer JT, Abe T, Sato Y, Bembem MG. Neuromuscular fatigue following low-intensity dynamic exercise with externally applied vascular restriction. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20(3):440-7.
18. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:2035-9.
19. Kim KS, Heo Y, Sin SH. Acute effects of the blood flow restriction on the peak torque and work per repetition during knee isokinetic exercise. *Korean J Sport Sci.* 2016;25(4):1259-65.
20. Sattler T, Sekulic D, Spasic M, Osmankac N, Vicente JP, et al. Isokinetic knee strength qualities as predictors of jumping performance in high-level volleyball athletes: multiple regression approach. *J Sports Med. Phys Fitness.* 2016;56(1-2):60-9.
21. Cook SB, Murphy BG, Labarbera KE. Neuromuscular function after a bout of low-load blood flow-restricted exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;45(1):67-74.
22. Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, et al. Low-load resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthopacologica Scandinavia.* 2003;74:62-8.
23. Sata S. Kaatsu training for patella tendinitis patient. *Int J KAATSU Training Res.* 2005;1:29-32.
24. Kim TH, Lee SH, Kim YJ, Kim SJ, Kang JH, et al. Effect of acute resistance exercise with different level of blood flow restriction on acute changes in muscle thickness, blood lactate, CK, and oxidative stress in male adults. *Exerc Sci.* 2018;27(1):50-61.
25. Drummond MJ, Dreyer HC, Fry CS, Glynn EL, Rasmussen BB. Nutritional and contractile regulation of human skeletal muscle protein synthesis and mTORC1 signaling. *J Appl Physiol.* 2009;106(4):1374-84.
26. Berneis K, Ninnis R, Haussinger D, Keller U. Effects of hyper- and hypoosmolality on whole body protein and glucose kinetics in humans. *Am J Physiol.* 1999;276:E188-95.
27. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol.* 2010;108:1199-209.
28. Manimmanakorn A, Hamlin MJ, Ross JJ, Taylor R, Manimmanakorn N. Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. *J Sci Med Sport.* 2013;16(4):337-42.
29. Tanimoto M, Madarame H, Ishii N. Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise: comparison between "KAATSU" and other types of regimen. *Int J Kaatsu Training Res.* 2005;1(2):51-6.
30. Yasuda T, Abe T, Sato Y, Midorikawa T, Kearns CF, et al. Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training. *Int J KAATSU Training Res.* 2005;1:65-70.
31. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Blood flow restricted exercise for athletes: a review of available evidence. *J Sci Med Sport.* 2016;19(5):360-7.

32. Dahmane R, Djordjevic S, Simunic B, Valencic V. Spatial fiber type distribution in normal human muscle. Histochemical and tensiomyographical evaluation. *J Biomech.* 2005;38(12):2451-9.
33. Ra HS, Yoon YH, Cho JK, Yoon SJ. A comparison of linear and non-linear periodization strength training on body composition, maximal strength and power in kabaddi players. *Korean J Sport Sci.* 2012;23(3):675-90.
34. Abe T, Kawamoto K, Yasuda T, Kearns C, Midorikawa T, et al. Eight days KAATSU-resistance training improved sprint but not jump performance in collegiate male track and field athletes. *Int J KAATSU Training Res.* 2005;1(1):19-23.