

혈류제한 운동의 개요

영남대학교 생활과학대학 체육학부

신성훈, 김현수

Overview of Blood Flow Restriction and Exercise

Sunghoon Shin, PhD, Hyun-Soo Kim, BSS

School of Kinesiology, College of Human Ecology & Kinesiology, Yeungnam University, Gyeongsan, Republic of Korea

This review paper outlines the effect of blood flow restriction exercise on hemodynamics from the biomechanical perspective. Blood flow restriction exercise is a kind of exercise methods that maximizes the effectiveness of exercise by applying specific pressure to block vein flow while allowing flow of arteries by wearing portable pneumatic cuffs in the upper and lower parts of the body prior to exercise. In various existing literature, the effect of blood flow restriction on exercise has been revealed based on lots of field including elite sports, recreation, and rehabilitation. This study will establish the concept of blood flow restriction on exercise by integrating the contents of such research. Therefore, the purpose of this study is to provide information based on scientific evidence on blood flow restriction exercise by introducing the concept and principle of blood flow restriction, physiological mechanisms and effects, actual application cases, and precautions.

Key Words: Blood Flow Restriction • Exercise • Biomechanics • Hemodynamics • Vascular System

서 론

생체역학은 근육, 뼈, 힘줄, 인대가 함께 작동하여 움직임을 생성하는 방법과 운동에서의 여러 힘의 원리를 다루는 영역이다[1]. 혈역학은 흐르는 혈액과 혈액이 흐르는 모든 고체 구조(예, 동맥)에 대한 연구 분야로[2] 혈류의 지배적인 원리와 혈관에서의 물리적 반응을 포함한 혈액순환의 흐름에 대해 연구하는 학문이다[3]. 최근 유행하는 혈류제한(Blood Flow Restriction, BFR)은 저강도 운동에서 팔이나 다리 근육의 근위

측면에 비공압 폐쇄 커프(토니켓) 또는 공압 밴드에 의한 압박을 가하는 형태로 남녀노소, 수술 환자를 포함한 중강도 이상의 운동에 참여하기 어려운 운동참가자의 운동, 재활, 물리치료에서 임상적 가치를 지니는 처치방법이다[4-6]. 일반인에게도 혈류제한운동(Blood Flow Restriction Exercise: BFR-E)은 근력 증대 및 근비대, 심폐지구력의 향상, 근위축 예방 등의 긍정적인 효과를 나타내어[7,8] 남녀노소, 질병 유무에 관계없이 많은 사람들이 활용하는 운동으로 여겨진다.

BFR의 가장 큰 장점은 운동상황에서 혈액순환을 극대화하고[6], 상대적으로 적은 힘을 동원하는 저강도 운동으로도 효율적인 근력 향상을 촉진하며, 운동 중 고통을 완화할 수 있다는 점이다. BFR-E은 앞서 언급한 두 분야에서 관심이 높아지고 있다.

► Received: October 17, 2021, ► Accepted: November 5, 2021
Address for correspondence: **Sunghoon Shin**, PhD
School of Kinesiology, College of Human Ecology &
Kinesiology, Yeungnam University, Daehakro 280, Gyeongsan,
Republic of Korea
Tel: +82-53-810-3136, Fax: +82-53-810-4669
E-mail: sshin27@ynu.ac.kr

본 론

1. 생체역학 기반 BFR의 원리와 적용

많은 선행 연구들은 혈액학적 관점에서 다양한 신체활동 중 BFR-E의 효과를 보여주었다. BFR-E은 1960년대 말 Yoshiaki Sato 박사에 의해 일본에서 처음 개발되었으며[9], 이것은 오늘날 KAATSU 트레이닝으로 잘 알려져 있다. 다양한 운동 유형(예, 저항 운동, 걷기, 사이클링)에서 BFR-E는 인기를 얻고 있다[7]. 일례로 BFR-E는 근비대를 추구하는 전문 운동선수 및 고강도 운동을 즐기는 일반인의 레크리에이션 훈련법으로 응용되어 그 효과가 입증되었으며, 고강도 운동을 수행할 수

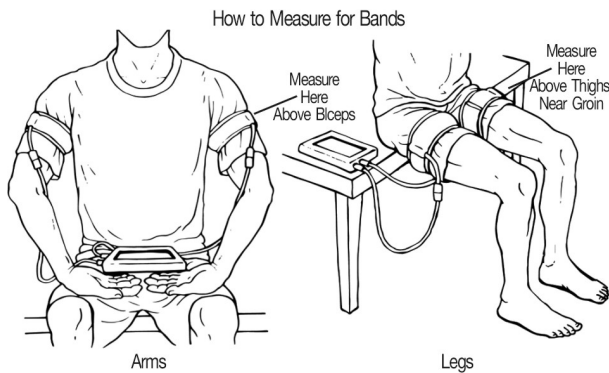


Fig. 1. Cuff position in blood flow restriction exercise.

<https://www.kaatsu.com/?action=store.details&pid=34>(search date: Apr. 14, 2021).

없는 임상 집단에서도 사용될 수 있다[6].

BFR-E은 운동 중인 근육의 근위에 공압 커프로 압박을 가하는 것을 주요 방법으로 실시한다(Fig. 1). 이때 압박은 상지 또는 하지에 모두 적용할 수 있다[8]. 운동효과를 극대화하기 위해서는 적절한 압력 수준의 압박이 요구된다[5]. Figure 1에서 보는 바와 같이 운동수행에 앞서 상하지 부위에 휴대용 공압 커프를 착용하여 동맥의 흐름을 허용하면서 정맥 흐름을 막는 특정 압력을 가하면 저강도 운동에서도 운동 효과를 극대화할 수 있다. BFR-E은 일반적으로 운동 중 동맥 유입을 부분적으로 제한하고 운동에 동원된 근육계에서 정맥 유출을 완전히 제한한다[4].

2. 혈류제한 운동의 생리학적 기전

가압에 의한 혈류제한과 혈액 유흥 상태에서의 운동을 통해 근육 내부에 저산소 환경이 조성되면 대사산물이 축적된다. 이로 인해 크게 네 가지의 생리적 반응이 나타나는데, (1) 신경계 운동단위 동원 활성화 및 속근섬유 활용빈도 증가[10], (2) 근육계 근비대 전이 발생[11], (3) 노르에피네프린, 젖산 물질 등의 농도 상승[12,13], (4) 기타 성장억제인자 감소, 성장촉진인자 증가와 근육의 위성세포 증식[11,13-16]이다. BFR-E의 생리학적 기전은 Figure 2에 도식으로 나타내었다.

3. 혈류제한 운동의 주요 효과

BFR-E에는 근력 증가[17-19], 성장 호르몬 생산 증가[11,

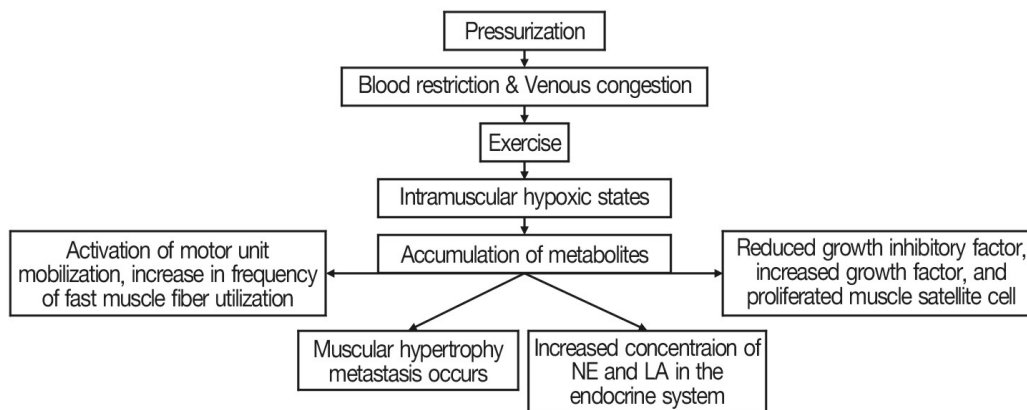


Fig. 2. Schematic diagram showing the physiological mechanism of blood flow restriction exercise.

13-16], 심혈관 기능 개선[20,21], 혈액순환 개선[22], 골 대사 증진 및 골다공증 예방[23,24] 등 다양한 효과가 있다. 여러 효과 중 대표적인 효과는 크게 세 가지이다. 첫째, 운동 중 상하지(근위)에서 몸통(원위)까지의 혈액순환인 정맥류를 안전하고 부드럽게 조절하여 혈액순환을 개선한다. 이러한 사지의 일시적이고 추가적인 혈액순환은 인체 내 항상성의 미묘하고 심오한 변화로 이어지는데, 혈관조직은 탄력성이 점진적으로 증가되어 다양한 호르몬과 성장 인자의 분비를 촉진한다. 또한, 혈류제한은 저장도 운동 시 울혈 발생 및 근육내 저산소 환경을 조성하여 대사산물을 축적시킨다. 이때 대사산물의 제거를 위해 증가된 심장박동은 사지 모세혈관 혈류량의 증가를 가져오고, 궁극적으로는 전신에 대한 혈액순환을 활성화시킨다[25-28]. 둘째, BFR-E은 산화질소의 생성을 촉진한다. 산화질소는 혈관 내피 성장인자, 산화질소, 인슐린 유사 성장인자 및 뇌 유래 신경 영양인자, 세라마이드, 플라즈마 로젠, 베타 엔돌핀, 그리고 테스토스테론의 생산을 위한 촉매제가 된다. 생성된 산화질소는 운동 중 혈관을 수축·이완시키고 혈관벽의 염증 세포량을 조절하는 역할을 한다[25,29,30]. 셋째, BFR-E은 성장호르몬의 생산을 활성화한다. 이 운동은 젖산이 근육에 축적되어 뇌하수체가 성장 호르몬을 분비하도록 유도한다.

Table 1. Exercise protocol for resistance exercise program in blood flow restriction exercise

Guidelines	
Frequency	2-3 times a week (>3 weeks) or 1-2 times per day (1-3 weeks)
Load	20-40% 1RM
Restriction time	5-10 minutes per exercise (reperfusion exercises)
Type	Small and large muscle groups (arms and legs/unilateral or bilateral)
Sets	2-4
Cuff	5 cm (small), 10 or 12 cm (medium), 17 or 18 cm (large)
Repetitions pressure	(75 repetitions) – 30×15×15×15, or sets to failure 40-80% AOP
Rests between sets	30-60s
Restriction form	Continuous or intermittent
Execution speed	1-2s (concentric and eccentric)
Execution	Until concentric failure or when planned repetition scheme is completed

Abbreviation: repetition maximum, RM; arterial occlusion pressure, AOP.

이때 성장호르몬이 다량으로 분비되어 마치 격렬한 운동상황인 것처럼 시뮬레이션하고 저장도에서도 인체의 신진대사를 활성화시킨다[29-31].

4. 혈류제한 운동의 프로토콜

실제 운동 상황에서의 혈류제한 적용에 대한 선행연구는 생체역학적 관점에서 최적 압박강도의 설정과 유산소 및 저항 운동프로그램의 효과유무에 역점을 두었다. 프로그램의 대상자는 환자(수술 후 환자와 정형외과적 질환 후 재활을 받는 환자)에서 노인에 이르기까지 다양한 대상에 적용할 수 있는 프로그램으로 설계되어왔다[4-6,8]. 보편적으로 이용되는 프로토콜은 반복 저항운동의 형태로 주당 2-3회, 일회당 2-4세트로 실시하되, 1 repetition maximum (RM)의 20-40% 강도를 설정하고, 운동하는 동안의 혈류제한 시간은 5-10분으로 설정한다. 이때 운동은 상지와 하지 근육을 단련하는 운동 유형으로 설정한다[8]. 혈류제한과 저항 운동프로그램에 대한 자세한 권고사항은 Table 1에 제시하였다. 반면, 유산소운동의 경우, 주당 2-3회, 최대산소섭취량 또는 예비심박수의 50% 미만 강도와 40-80% 동맥폐쇄압(arterial occlusion pressure)의 지속 또는 인터벌 세트로 사이클링이나 걷기와 같은 운동 유형을 설정한다(Table 2)[8].

5. 혈류제한 운동 시 주의사항

BFR-E은 근비대를 위한 목적으로 운동선수와 일반인이 이

Table 2. Exercise protocol for aerobic exercise program in blood flow restriction exercise

Guidelines	
Frequency	2-3 times a week (>3 weeks) or 1-2 times per day (1-3 weeks)
Intensity	<50% VO_2max or HRR
Restriction time	5-20 minutes per exercise
Type	Small and large muscle groups (arms and legs/unilateral or bilateral)
Cuff	5 cm (small), 10 or 12 cm (medium), 17 or 18 cm (large)
Set pressure	Continuous or intervals 40-80% AOP
Exercise mode	Cycling or walking

Abbreviation: oxygen consumption, VO_2 ; heart rate reserve, HRR; arterial occlusion pressure, AOP.

용할 뿐만 아니라, 병리 상태로 인해 고강도 운동을 수행하기 어려운 환자도 쉽게 접근할 수 있는 운동방법으로 알려져 있다[4-6]. 하지만, BFR-E를 실시할 때는 그 장점에도 불구하고 항상 잠재적으로 발생할 수 있는 부작용을 고려해야 한다 [32]. Brandner et al.[33]은 BFR-E의 부작용으로 실신, 현기증, 무감각, 통증, 그리고 지연성 근통증 등을 보고하였다. 운동 참가자는 혈류제한 실시 이전에 이러한 부작용을 숙지하고 안전하게 임해야 한다. 그렇다고 하더라도, 모든 환자군이 BFR-E를 이용할 수 있는 것은 아니다. 특정 환자의 경우는 운동 실시 전에 커프 사용에 대한 위험 및 금지여부를 평가받아야 한다. 혈류제한이 위험한 환자는 순환계통 관련 질환, 비만, 당뇨병, 동맥 석회화, 심각한 고혈압 또는 신장 부전을 가진 환자라고 알려져 있다[34].

결론

본 종설 연구의 목적은 운동에서 혈류제한의 개념과 원리, 생리적 기전과 효과, 운동프로토콜, 주의사항 등을 소개하여 혈류 제한 운동에 대한 과학적 정보를 제공하는 것이었다. 본 연구에서 밝힌 바와 같이 BFR-E는 운동 중 혈액순환 증진과 산화질소 및 성장호르몬 분비 촉진을 유도하여 신진대사를 개선하고, 신속한 근비대, 1RM의 증가 등과 같은 근기능의 향상을 가져오는 것으로 알려져 있다. 뿐만 아니라, 저강도의 운동으로도 고강도의 운동효과를 기대할 수 있어 상대적으로 안정성과 효율성이 높은 운동방법으로 평가받으며, 전 세계적으로 노년층과 환자에 이르기까지 전연령층에서 인기를 얻고 있다. 그러나, 유독 국내 피트니스, 임상 현장에서는 상대적으로 크게 주목받지 못하고 있다. 하지만, 현재 활발히 진행되고 있는 여러 관련 연구는 과학적 증거에 기반하여 향후 건강산업, 임상 및 재활 현장에 유익한 운동기법으로 BFR-E의 가치를 입증하고 있는 실정이며, 이러한 추세는 앞으로도 계속될 것으로 전망된다.

REFERENCES

1. Dworak LB, Murawa M, Owsian M, Maczyński J, Kabaciński J, Rzepnicka A. Three point crutch gait from the perspective of biomechanics and kinesiology. State of knowledge and idea behind the research. *Chir Narzadow Ruchu Ortop* 2011;76:305-312.
2. Stonebridge PA, Hoskins PR, Allan PL, Belch JF. Spiral laminar flow in vivo. *Clin Sci* 1996;91:17.
3. Pollock JD, Murray I, Bordes S, Makaryus AN. *Physiology, Cardiovascular Hemodynamics*. Treasure Island: StatPearls Publishing; 2017.
4. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports med* 2015;45:313-325.
5. McEwen JA, Owens JG, Jeyasurya J. Why is it crucial to use personalized occlusion pressures in blood flow restriction (BFR) rehabilitation?. *J Med Biol Eng* 2019;39:173-177.
6. Piconón MM, Chulvi IM, Cortell JMT, Tartosa J, Alkhadar Y, Sanchis J, et al. Acute cardiovascular responses after a single bout of blood flow restriction training. *Int J Exerc Sci* 2018;11:20.
7. Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ. Exercise and blood flow restriction. *J Strength Cond Res* 2013;27:2914-2926.
8. Patterson SD, Hughes L, Warmingington S, Burr J, Scott BR, Owens J, et al. Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Front Physiol* 2019; 10:533.
9. Whipple MT, Erickson RA, Donnenwerth JJ, Peterson AR. Blood Flow Restriction in Exercise and Rehabilitation. *ACSMs Health Fit J* 2021;25:6-9.
10. Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y, et al. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* 2007;103:903-910.
11. Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, Souza EO, Machado M, Dudeck JE, et al. Practical blood flow restriction training increases muscle hypertrophy during a periodized resistance training programme. *Clin Physiol Funct Imaging* 2014;34:317-321.
12. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol* 2000;88:61-65.
13. Patterson SD, Leggate M, Nimmo MA, Ferguson RA. Circulating hormone and cytokine response to low-load resistance training with blood flow restriction in older men. *Eur J Appl Physiol* 2013;113:713-719.
14. Shimizu R, Hotta K, Yamamoto S, Matsumoto T, Kamiya K, Kato M, et al. Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *Eur J Appl Physiol* 2016;116:749-757.
15. Hwang PS, Willoughby DS. Mechanisms behind blood flow-restricted training and its effect toward Muscle Growth. *J Strength Cond Res* 2019;33:167-179.

16. Goto K, Ishii N, Takamatsu K. The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:955-963.
17. Fujita T, Brechue WF, Kurita K, Sato Y, Abe T. Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. *Int J Train Res* 2008;4:1-8.
18. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H, Aoki MS, Soares AG, Neves M, et al. Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44:406-412.
19. Shinohara M, Kouzaki M, Yoshihisa T, Fukunaga T. Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997;77: 189-191.
20. Mouser JG, Mattocks KT, Dankel SJ, Buckner SL, Jessee MB, Bell ZW, et al. Very-low-load resistance exercise in the upper body with and without blood flow restriction: cardiovascular outcomes. *Appl Physiol Nutr Metab* 2019; 44:288-292.
21. De Oliveira MFM, Caputo F, Corvino RB, Denadai BS. Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle strength. *Scand J Med Sci Sports* 2016;26:1017-1025.
22. Salgarello M, Visconti G, Barone-Adesi L. Interlocking circumareolar suture with undyed polyamide thread: a personal experience. *Aesthetic Plast Surg* 2013;37:1061-1062.
23. Bittar ST, Pfeiffer PS, Santos HH, Cirilo-Sousa MS. Effects of blood flow restriction exercises on bone metabolism: a systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging* 2018;38: 930-935.
24. Silva J, Neto GR, Freitas E, Neto E, Batista G, Torres M, et al. Chronic Effect of Strength Training with Blood Flow Restriction on Muscular Strength among Women with Osteoporosis. *J Exerc Physiol* 2015;18:33-41.
25. Takano H, Morita T, Iida H, Asada K, Kato M, Uno K, et al. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol* 2005;95:65-73.
26. Kusuha K, Fujita T, Yasuda T, Nakajima T, Sato Y, Miyagi Y, et al. Effect of knee extension exercise with KAATSU on forehead cutaneous blood flow in healthy young and middle-aged women. *Int J Train Res* 2006;2:29-34.
27. Horiuchi M, Okita K. Blood flow restricted exercise and vascular function. *Int J Vasc Med* 2012; <https://doi.org/10.1155/2012/543218>.
28. Hiraizumi Y, Nakajima T, Sato Y, Imanishi T. KAATSU training as a new effective exercise therapy in a case of femoral medial condyle osteonecrosis. *Int J Train Res* 2016; 12:1-4.
29. Kawada S, Ishii N. Skeletal muscle hypertrophy after chronic restriction of venous blood flow in rats. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:1144.
30. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol* 2000;88:61-65.
31. Takano H, Morita T, Iida H, Kato M, Uno K, Hirose K, et al. Effects of low-intensity "KAATSU" resistance exercise on hemodynamic and growth hormone responses. *Int J Train Res* 2005;1:13-18.
32. Manini TM, Clark BC. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sport Sci Rev* 2009;37:78-85.
33. Brandner CR, May AK, Clarkson MJ, Warmington SA. Reported side-effects and safety considerations for the use of blood flow restriction during exercise in practice and research. *Tech Orthop* 2018;33:114-121.
34. DePhillipo NN, Kennedy MI, Aman ZS, Bernhardson AS, O'Brien L, LaPrade RF. Blood flow restriction therapy after knee surgery: Indications, safety considerations, and post-operative protocol. *Arthrosc Tech* 2018;7:1037-1043.