

일회성 혈류제한 저항성 운동이 성인남성의 대퇴둘레, 젖산, CK 및 산화스트레스에 미치는 영향

김태호¹, 이상현¹, 김양중¹, 김수진¹, 강주희², 곽효범¹, 박동호¹

¹인하대학교 스포츠과학과, ²인하대학교 의과대학 약리학교실

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

Tae-Ho Kim¹, Sang-Hyun Lee¹, Yang-Jung Kim¹, Su-Jin Kim¹, Ju-Hee Kang², Hyo-Bum Kwak¹, Dong-Ho Park¹

¹Department of Kinesiology, Inha University, Incheon; ²Department of Pharmacology and Medicinal Toxicology Research Center, College of Medicine, Inha University, Incheon, Korea

PURPOSE: To evaluate the effects of low-load resistance exercise (RE) with intermittent blood flow restriction (BFR) on the muscle thickness, blood lactate, creatine kinase (CK) and thiobarbituric acid-reactive substance (TBARS) levels in male.

METHODS: The study included 10 male college students aged 23.5 ± 1.0 years who underwent the following experimental protocols in random order on separate days (72 hour): 3 sessions at a 30% one-repetition maximum (1RM) RE with BFR (individual systolic blood pressure, 150% systolic blood pressure and 200% systolic blood pressure); 1 session at 60% 1RM RE without BFR (CON). The thigh circumference, TBARS and CK levels were measured before exercise (pre-exercise) and post-exercise and lactate, heart rate (HR), systolic (SP) and diastolic blood pressure were measured pre-, post-exercise, 5-, 15- and 30-minutes recovery.

RESULTS: Thigh circumference significantly increased following 30% 1RM with SP ($p = .10$) and SP 200% ($p = .36$) BFR compared to 60% 1RM without BFR but there was an increasing tendency in 30% 1RM with SP 150% ($p = .83$) BFR. Additionally, there were significant increases in TBARS ($p < .05$) and CK ($p < .05$) in the all protocols post-exercise samples compared with the pre-exercise samples but no significant group ($p = .113$, $p = .870$, respectively) or interaction ($p = .385$, $p = .132$, respectively) effect.

CONCLUSIONS: 30% 1-RM with BFR may effectively increase the circumference of the thigh muscle compared to 60% 1RM without BFR. Although both 30% 1RM with BFR (SP, SP 150%, SP 200%) and 60% 1RM without BFR temporarily increased TBARS production and CK, It does not cause damage.

Key words: Resistance exercise, Blood flow restriction, Lactate, Creatine kinase, Oxidative stress

서론

최근 국내에서도 근감소증(sarcopenia)이 질환으로 인식되면서 근육량뿐만 아니라 근력 증가에 대한 다양한 운동방법들이 제안되고 있다.

일반적으로 저항성 운동은 근육의 크기와 근력의 증가를 위한 가장 효과적인 방법으로 알려져 있다. 저항성 운동은 테스토스테론(testosterone)과 insulin like growth factor-1 (IGF-1)과 같은 단백질 합성 관련 호르몬 분비를 촉진시켜 체내 단백질 합성을 활성화시키는 것으로 알

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

*이 연구는 2017년도 인하대학교 교내연구비로 수행되었음.

Keywords 저항성 운동, 혈류제한, 젖산, CK, 산화스트레스

Received 5 Jan 2018 Revised 9 Feb 2018 Accepted 14 Feb 2018

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

려져 있으며[1], 이러한 작용에 의해 골격근의 성장과 비대를 유발시켜 근육량 및 근력을 증가시키는 데 효과가 있는 것으로 보고되고 있다[2].

ACSM [3]에서는 근비대를 위한 강도로서 one-repetition maximum (1RM)의 70-85%의 강도를 제안하고 있다. 이러한 강도로 실시하는 근비대를 위한 전통적 방식의 저항성 운동은 근육의 성장을 도울 수는 있지만 전문적으로 훈련을 받지 않았거나 몸이 완전하지 않은 재활 중인 환자들 또는 노인과 질병이 있는 사람들 그리고 일반적인 체력수준과 운동능력이 낮은 여성이나, 어린이와 같은 대상자들에게는 상대적으로 높은 운동강도가 될 수 있다. 특히, 이러한 대상자들의 경우 부상 위험요소가 높고 적용하기 쉽지 않기 때문에 일부 연구들에서는 대상자의 상태나 여건에 따라 고강도 근력 트레이닝을 제한하기도 한다[4]. 반면, 너무 낮은 저항도의 운동은 인체의 기능향상을 초래하기에 충분하지 않은 자극을 제공하기 때문에 저항도 운동 또한 원하는 최적의 효과를 기대할 수 없다. 따라서 앞서 언급한 노인, 여성, 재활환자 등과 같은 특수 대상자들은 근력트레이닝의 효율적인 효과를 기대하기 위해서는 개인별 맞춤 운동트레이닝이 필요하며, 이러한 근력운동의 단점을 보완하기 위한 방법으로써 최근 근육의 자극 부담을 줄이고 부상의 위험을 낮추면서 근력향상 효과가 고강도 저항성 운동과 비슷하거나 유사하거나 더 높은 효과를 기대할 수 있는 운동으로써 혈류제한(blood flow restriction, BFR) 운동 혹은 KAATSU(가압) 운동이 소개되고 있다[5].

혈류제한 운동은 공압식 전용벨트를 사용하여 사지의 말단에 적당한 강도로 압박을 가한 상태에서 단시간 동안 저항도 근력훈련을 실시하는 압박훈련(pressurization training)방법이다. 주로 일본과 국내에서는 ‘KAATSU(가압) 운동’이라고 하고 있지만 영어권인 나라들은 ‘혈류제한(BFR) 운동’이라 표현하고 있다[5]. 혈류제한 운동은 단시간에 저항도로 실시되며, 말초신경계에서의 근수축이 일어나는 동안 활동근에서 심장까지 혈액이 돌아오기 어렵게 혹은 완전히 제한하는 것으로써 활동근과 활동근 주변조직에서 혈액순환 동태의 큰 변화를 일으켜 대사작용들을 더욱 활발하게 촉진시키는 특징이 있다[6].

현재까지 혈류제한 운동의 효과에 대한 많은 연구들이 수행되고 있으며[6-11], 그 예로 최근 Freitas et al. [12]은 10명의 젊은 남성을 대상으로 80% 1RM의 고강도 저항운동, 20% 1RM의 저항도 혈류제한 운동(160 mmHg) 그리고 통제집단(no exercise or BFR)을 구성하여 근부종과 혈장량의 변화를 관찰한 결과, 저항도 혈류제한 운동으로도 고강도의 저항 운동 효과가 나타남을 보고한 바 있다. 이러한 선행연구 결과들을 통해 혈류제한 운동이 저항도의 근력 트레이닝임에도 불구하고 고강도 운동 효과와 유사한 근력과 근비대 증가가 가능함을 나타냄으로써 혈류제한 운동이 고강도 저항성 운동의 제한점과 단점을 극복할 수 있는 방법으로 제안되고 있다[5]. 즉, 저항도 혈류제한 저항성(Low Intensity Blood Flow Restriction, LI-BFR) 운동은 근육의 과도한

사용과 대상자의 부상의 위험을 줄이면서 고강도 저항성 운동의 대안으로써 근력과 근비대 향상을 위한 안전한 방법으로 활용할 가치가 있다는 것이다[5,13].

일반적으로 운동은 근육내의 대사체의 축적과 저산소증을 유발하고, 이것은 미토콘드리아 전자전달계를 통해 ROS 생성을 증가시킨다. 지구성 운동에 의한 ROS 생성은 peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator (PGC-1α)와 p38 mitogen-activated protein kinase (p38MAPK)를 자극함으로써 미토콘드리아 적응에 긍정적 영향을 미친다[14]. 더욱이, 대사적 자극은 미토콘드리아 생성과 혈관재생뿐 아니라 근비대에도 긍정적 영향을 미치며, 저항운동은 대사체의 축적을 더 크게 증가시키는 형태의 운동이다. 이러한 대사체의 증가는 호르몬의 분비, 저산소증, ROS의 생성 및 세포 부종을 유발한다. 이러한 모든 과정은 동화작용을 위한 신호로 단백질 합성과 위성세포의 활성을 자극한다[15]. 특히, 혈류제한 처치는 근육의 혈류 이동을 감소 또는 차단함으로써 근육내의 대사체의 증가뿐만 아니라 저산소증을 더 크게 유발하며 운동 종료 후에 발생하는 재관류(reperfusion)로 인한 ROS의 생성을 증가시킬 수 있다. 더욱이, 적당 수준의 활성산소 생성은 세포가 건강한 생명활동을 할 수 있도록 성장과 분화를 돕는 역할[16]을 하지만 지나친 ROS 생성에 의한 산화스트레스는 생리적 노화를 일으켜 면역 반응에 손상을 주게 된다[17]. 그럼에도 불구하고 혈류제한 운동과 ROS 생성과의 관련성에 대하여 살펴본 연구가 매우 드문 실정이다.

더욱이 전통적인 저항운동의 강도와 같이 혈류제한 운동의 운동강도에 직접적 영향을 미칠 수 있는 혈류제한 압력 설정에 대한 연구 역시 미비한 실정이다. 그 예로, 수축기압력의 130% (1.3배) 또는 160 mmHg의 처치[6,7,9,10,12] 또는 약 300 mmHg [8,11,18]의 처치가 대부분으로 혈류제한 압력의 기준이나 어느 정도의 압력에서 효과적인지에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 특히, 국내의 경우는 임의적으로 외국 선행연구들의 결과를 바탕으로 대략적인 압력을 설정하여 사용하고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 선행연구들에서 제시한 다양한 압력들 중 가장 많이 활용하고 있는 압력범위(수축기혈압에서 300 mmHg)에서 수축기혈압을 기준으로 수축기혈압(systolic blood pressure, SBP), 수축기혈압의 1.5배(SP 150%)와 2배(SP 200%)를 설정하여 ROS를 포함한 다양한 생리적 변인의 반응을 비교함으로써 가장 효과적인 혈류제한의 압력을 제시하고자 한다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 특별한 질병이 없고 심혈관계질환이 없는 신체 건강한 남자 대학생 10명을 대상으로 선정하였다. 실험 전 피험자들에게

위험요인들을 인지시키고 실험에 대한 목적과 내용들을 충분히 설명하여 적극적으로 참여에 동의를 구한 후 실험을 실시하였다. 본 연구의 피험자들의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 실험 설계

본 실험은 처치방법에 따라 통제군(Control; CON 비혈류제한군), 혈류제한 개인별 수축기혈압군(systolic pressure, SP), 개인별 수축기혈압의 1.5배 처치군(SP 150%), 개인별 수축기혈압의 2배 처치군(SP 200%)으로 구성하였다. 피험자들의 운동방법에 따른 실시 순서는 무선표집 방법에 근거(counter-balanced design)하여 실시하였으며, 4일 간격으로 총 4회의 반복측정에 참여하였다. 피험자들은 처치 방법별 측정 전 최소 12시간 동안 공복을 지키도록 하였으며, 측정 전날 과도한 운동 그리고 음주 등을 금지시켰다. 참여자는 측정 당일 실험실에 도착하여 5분간 안정을 취한 후 약 10 mL의 혈액 채혈을 받았다. 이후 개인별 혈압과 대퇴둘레 측정을 실시한 후 저항성 운동을 20회 3세트 실시하였다. 근비대를 평가하기 위하여 전통적인 대퇴근 운동기구인 레그익스텐션(leg extension)을 사용하였으며, 본 연구의 저항성 운동 강도의 경우 통제군은 1RM의 60%, 혈류제한군(SP, SP 150%, SP 200%)은 1RM의 30%로 20회, 3세트로써 각 세트간 1분 30초의 휴식시간을 부여하였다. 모든 처치별 저항성 운동이 종료된 직후 개인별 혈압과 대퇴둘레 및 채혈을 실시하였다. 혈중 젖산 농도는 안정 시, 운동 직후, 회복기 5분, 회복기 15분, 회복기 30분(총 30분)까지 총 5회에 걸쳐 측정하였다.

3. 측정방법

1) 체격 및 신체조성

신장과 체중은 반바지와 티셔츠를 입은 상태에서 측정기기(TBF2002, Tanita Co., Japan)를 이용하여 각각 0.1 cm와 0.1 kg 단위까지 계측하였다. 또한 허리와 엉덩이 둘레 모두 0.1 cm 단위까지 측정하였다.

대퇴부의 둘레 측정은 대상자가 서 있는 상태로 자연스럽게 다리의 사이를 측정이 가능할 정도로 벌리고 다리의 무게중심을 동일하게 잡

은 뒤 무릎 관절선(joint line)에서 18 cm에 해당하는 대퇴부위를 표시하고 그 부위를 줄자를 이용하여 둘레를 감아서 1 cm 단위로 측정하였다.

체지방을 포함한 체성분 분석은 인피디스 방식의 체성분 분석기(in-body 4.0, Biospace Co., Korea)를 이용하여 대상자들의 체지방률(% fat)을 측정하였다.

2) 레그익스텐션 운동 및 최대근력 측정

본 연구에서 실시한 저항성 운동은 일반적인 하체운동기구인 레그익스텐션을 이용하였다. 모든 대상자는 기구에 앉아 등받이 길이와 의자높이를 적당히 맞추고 발목을 롤 패드에 맞춘 후 손잡이를 잡고 본 운동을 실시하였다. 운동 중 강하게 쥐어짜주는 듯한 느낌으로 다리를 올리고, 최고 위치에 올라갔을 때 무릎 관절의 운동을 멈추어 최대 근수축을 유도하였으며, 내릴 때에는 호흡에 맞춰서 천천히 내려오면서 발은 특정한 방향을 가리키지 않고 11자로 자연스럽게 놓도록 하였다. 이때, 상체의 반동이 일어나지 않도록 천천히 연구자의 구령에 맞춰 실시할 수 있도록 하였다.

1RM 측정은 대상자들의 부상방지를 위하여 1RM 간접법을 통해 대상자들의 최대근력(1RM)을 측정하였다. 이를 위하여 먼저 가벼운 무게로 준비운동을 한 뒤 5-7회 정도의 반복횟수를 최대로 수행한 후 더 이상 실시하지 못했을 때의 증량을 측정하였다. 이후 O'Shea et al. [19]의 1RM 간접추정식을 이용하여 1RM을 산출하였다.

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

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

3) 혈압, 심박수, 평균동맥압 측정

자동 혈압계(247 BP device, USA)를 이용하여 대상자들의 안정 시, 운동 직후, 휴식기 5분, 15분 및 30분까지 총 5회의 수축기와 이완기혈압을 측정하였다. 측정 전 격렬한 활동, 음식물 섭취 등을 제한시켰으며, 측정 시 의자에 앉아 안정을 취한 후 상완의 높이를 심장높이로 유지한 후 수축기혈압, 이완기혈압, 심박수, 평균 동맥압을 측정하였다.

4) 시각적 통증사상척도

가압적 혈류제한 운동 중 발생될 수 있는 임상적 통증정도를 평가하기 위해서 Cole et al. [20]이 제시한 시각적 통증사상척도(Visual Ana-

Table 1. Subject characteristics

| | N | Mean ± SD | Range |
|--------------------------|----|-------------|-------------|
| Age (yr) | 10 | 23.5 ± 1.0 | 22.8-24.2 |
| Height (cm) | 10 | 176.3 ± 6.2 | 168.0-191.0 |
| Weight (kg) | 10 | 74.9 ± 8.5 | 67.1-92.1 |
| Lean body mass (kg) | 10 | 35.1 ± 3.9 | 31.2-43.8 |
| Fat mass (kg) | 10 | 13.1 ± 5.2 | 5.3-25.4 |
| BMI (kg/m ²) | 10 | 24.0 ± 1.9 | 21.7-27.8 |
| Fat (%) | 10 | 17.2 ± 5.8 | 7.9-30.6 |
| SBP (mmHg) | 10 | 131.8 ± 8.5 | 112.3-141.5 |
| DBP (mmHg) | 10 | 79.6 ± 12.0 | 57.3-92.5 |

SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure.

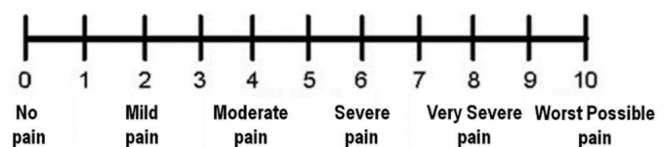


Fig. 1. Visual Analogue Scale (VAS).

logue Scale, VAS)를 사용하였다. 본 연구에서는 신뢰도와 객관성을 더 높은 수정된 시각적 통증사상척도를 사용하였다(Fig. 1). 또한 대상자들의 운동의 힘들 정도를 평가할 수 있는 운동자각도를 이용하여 각 처치별 운동의 힘들 수준을 측정하였다. 운동자각도는 현재 가장 널리 사용되고 있는 Borg 척도(6-20)를 이용하였다[21].

5) 혈류제한 적용

본 운동을 실시하기 전에 약 5분간 혈류제한 적용 훈련을 시행한 후 본 운동을 실시하였다. 혈류제한 운동 기구인 KAATSU Master (KAATSU Global Inc., USA)의 공기압벨트(air band, 50 cm length)를 대퇴근과 고관절 사이에 착용하여 압력을 설정하였다. 압력은 대상자의 안정 시 수축기혈압을 기준(SP, SP 150%, SP 200%)으로 계산하여 설정하였다. 운동 직전 벨트 압력을 적용한 후 운동을 실시하였고, 1세트 운동 종료 직후 1분 30초의 휴식시간 동안에는 압력을 제거하고 운동 직전 다시 압력을 적용을 하는 방식으로 혈류제한 운동을 실시하였다. 본 운동 시 피험자가 최대능력을 발휘하도록 측정의 목적과 방법을 자세히 설명하였고 운동 중 연구자의 구령으로 피험자를 최대한 독려하였다. 운동이 끝날 때마다 참여자의 상태를 면밀히 관찰하였으며, 어지러움과 같은 증상이 있을 경우 측정을 즉시 중단한 후 휴식을 취하게 하거나 참여자의 상태에 따라 압력을 감소(10 mmHg)시켜 운동을 다시 실시하도록 하였다.

6) 혈액변인

활성 산소(thiobarbituric acid-reactive substance, TBARS)의 분석을 위하여 혈장(plasma)전용 EDTA 튜브를 이용하여 실험실계 기준으로 안정 시와 운동 직후 총 2회 5 mL씩의 혈액을 각각 채취하고 채혈을 통해 수집된 혈액은 혈액원심분리기(centrifuge)를 이용하여 1,500 rpm

으로 4°C에서 15분간 원심분리하여 보관하였다. 원심분리된 혈장은 TBARS Assay kit (CELL BIOLABS, INC)와 MDA Quantitation (USA)를 이용하여 혈중 활성산소 농도를 측정하였다. 분리된 혈액의 상층액을 마이크로 튜브에 50 µL씩 나누어 담은 후, 100X BHT (cellbiolabs, USA)를 0.5 µL씩 넣어 혈장의 산화를 방지하였다. 37°C로 녹인 SDS lysis buffer (cellbiolabs, USA)를 50 µL 추가로 넣어준 후, 실온에서 5분간 incubation하고, Thiobarbituric acid (TBA, cellbiolabs, USA) 5.2 mg/mL를 넣고 섞어주었다. 95°C에서 45분간 끓인 후, 얼음에 5분간 식히고, 마이크로 원심분리기(micro-centrifuge)에 3,000 rpm으로 15분간 원심분리하였다. 이후, 96 well plates에 200 µL씩 넣고 spectrophotometric plate reader 장비를 이용하여, 532 nm로 농도를 확인하였다. 이를 정량화하기 위해 스탠다드는 MDA standard (cellbiolabs, USA)를 사용하였으며, 혈장과 동일한 방법으로 실시하였다.

혈중 젖산 농도를 측정하기 위하여 다른 모세혈관에서의 채혈 방법보다 채혈이 편리하고 가장 많이 이용되고 있는 손가락 끝의 모세혈관으로부터 채혈을 하는 finger-tip 방법을 이용하였다. 총 실험실계 기준으로 안정 시, 운동 직후, 회복기 5분, 15분 및 30분까지 총 5회 혈액을 채취하여 자동젖산분석기(YSI1500-L, USA)를 사용하여 혈중 젖산 농도를 측정하였다. 또한 크레아틴 키나제 분석은 UV assay 방법을 이용하였다. 이를 위하여 CK 전용시약을 이용하였고 Cobas C702 (Roche, Germany)를 사용하여 측정하였다.

4. 자료처리방법

본 연구에서는 SPSS 통계 프로그램(version 18.0)을 이용해 자료를 분석하였으며, 측정 변인들에 대한 모든 결과는 평균(M)과 표준편차(SD)로 표시하였다. 네 가지의 압박강도별 변인들의 차이를 분석하기 위하여 two-way repeated-measures ANOVA를 실시하였으며, 유의한



Fig. 2. The equipment of blood flow restriction (KAATSU Master).

차이가 있을 경우 사후 검증을 위하여 시기(2회, 5회)의 차이에 따라 one-way ANOVA의 Bonferroni correction 및 종속 t-test 그리고 자료의 정규성 검증을 통해 정규분포를 이루지 못하는 경우 대응 t-test 대신 비모수 검정방법인 Wilcoxon signed ranks test를 실시하였다. 본 연구의 모든 통계적 유의수준(α)은 .05로 설정하였다.

연구결과

본 연구는 일반 성인 남성을 대상으로 비혈류제한군(CON, 60% 1RM)과 세 그룹의 혈류제한(SP, SP 150%, SP 200%=30% 1RM with BFR)으로 처치를 구분하였으며, 하체 운동기구인 Leg extension을 이용하여 처치별 운동을 실시한 후 대퇴돌레, CK, 활성산소 생성, 혈중 젖산 농도, 기타변인 등을 측정 후 비교, 분석하였으며 구체적인 결과는 다음과 같다(Table 2).

ROS의 경우 집단 및 집단×시기의 상호작용효과에서는 유의한 차이가 나타나지 않았지만 시기($p=.001$)에서 유의한 차이가 나타났다. 사후검증결과, CON ($p=.013$), SP ($p=.050$), SP 150% ($p=.024$), SP 200% ($p=.048$) 집단 모두 운동 전에 비해 운동 직후에 통계적으로 유의하게 증가하였다. CK 역시 집단($p>.05$) 및 집단×시기에 대한 유의한 상호작용효과($p>.05$)는 나타나지 않았으나 시기($p=.000$)에 대한 주효과는 유의한 것으로 나타났다. 사후분석 결과, Con ($p=.000$), SP ($p=.014$), SP 150% ($p=.001$), SP 200% ($p=.000$)의 집단 모두 운동 전에 비해 운동 직후에 유의하게 증가한 것으로 나타났다. 좌우 평균 대퇴돌레의 경우, 집단($p>.05$) 및 집단×시기($p>.05$)에 대한 상호작용효과는 나타나지 않았으나 시기에 의한 주효과가 있었다($p<.05$). 사후분석 결과, CON 집단($p=.752$)과는 달리 SP 집단($p=.010$)과 SP 200% 집단($p=.036$)에서는

운동 전에 비해 운동 직후 유의하게 증가하였고, SP 150% 집단에서는 증가하는 경향만 나타났다($p=.083$).

젖산의 경우, 집단 및 시기에 대한 유의한 상호작용 효과가 나타났다($p<.05$). 이에 대한 사후분석을 위하여 CON vs. SP, CON vs. SP 150%, CON vs. SP 200%, SP vs. SP 150%, SP vs. SP 200% 그리고 SP 150% vs. SP 200%에 대한 두 집단과 시기의 이원변량반복 ANOVA를 실시하였고 CON vs. SP, CON vs. SP 150%, CON vs. SP 200%에서 유의한 상호작용효과가 있음을 확인할 수 있었다. 즉, CON에 비해 SP, SP 150%와 SP 200%이 운동 직후의 젖산 농도가 낮게 증가하는 패턴의 차이가 나타났다.

심박수도 집단 및 시기에 대한 유의한 상호작용효과가 나타났다($p<.05$). 마찬가지로, 사후분석을 위하여 두 집단과 시기의 이원변량반복 ANOVA를 실시하였으며, 그 결과 CON vs. SP에서만 상호작용효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, CON에 비해 SP의 운동 직후의 심박수가 낮게 증가하는 패턴의 차이로 나타났다. 반면에 수축기혈압, 이완기혈압 및 평균동맥압에서는 집단과 시기의 주효과뿐만 아니라 상호작용효과가 나타나지 않았다.

한편 VAS와 ratings of perceived exertion (RPE)의 경우는 시기와 상호작용효과에서는 유의한 차이가 나타나지 않았으나 집단 간 유의한 차이가 나타났다. 즉, VAS의 경우는 운동 직후에서 CON에 비해 SP ($p<.01$), SP 150% ($p<.01$)와 SP 200% ($p<.01$)가 유의하게 낮은 것으로 나타났고, 회복기 15분과 30분에서 각각 CON에 비해 SP ($p<.01$)와 SP 200% ($p<.01$) 집단이 유의하게 낮은 것으로 나타났다. RPE는 운동 직후와 회복기 5분에서 CON에 비해 SP ($p<.01$), SP 150% ($p<.05$) 및 SP 200% ($p<.01$)에서 모두 유의하게 낮은 것으로 나타났다.

Table 2. Comparative analysis of ROS, creatine kinase and thigh circumference among groups

| Variables | Group (n = 10) | Pre-exercise | Post-exercise | △Diff. (%) | p |
|---------------------------------------|----------------|--------------|-----------------------------|------------|----------|
| TBARS (MDA/protein, mg) | CON | 6.0±2.6 | 8.0±3.1 ^{a,*} | 33.3 | G:.113 |
| | SP | 5.9±2.4 | 6.5±2.2 ^{a,*} | 10.2 | T:.001 |
| | SP 150% | 6.5±2.2 | 7.9±2.1 ^{a,*} | 23.4 | G T:.385 |
| | SP 200% | 6.8±2.3 | 8.6±3.5 ^{a,*} | 26.5 | |
| Creatine kinase (U/L) | CON | 191.4±99.6 | 210.5±106.8 ^{a,**} | 10.0 | G:.870 |
| | SP | 272.4±171.1 | 294.4±190.7 ^{a,*} | 8.1 | T:.048 |
| | SP 150% | 287.6±169.2 | 310.7±180.8 ^{a,**} | 8.0 | G T:.123 |
| | SP 200% | 214.4±102.0 | 230.9±109.0 ^{a,**} | 7.7 | |
| Thigh circumference (cm) [‡] | CON | 56.9±3.6 | 57.0±3.3 | 0.2 | G:.831 |
| | SP | 55.9±2.5 | 56.6±2.9 ^{a,**} | 1.1 | T:.004 |
| | SP 150% | 56.4±3.1 | 56.9±3.0 | 0.9 | G T:.132 |
| | SP 200% | 55.8±2.7 | 57.2±3.8 ^{a,*} | 2.5 | |

Values are mean and SD.

CON, Control (60% 1RM without BFR); SP, 30% 1RM with individual systolic pressure treatment; SP 150%, 30% 1RM with Individual 1.5 times systolic blood pressure treatment; SP 200%, 30% 1RM with Individual 2.0 times systolic blood pressure treatment; △Diff.(%), differences (%) to the pre-exercise.

[‡]Average of Left and right thigh circumference; ^aSignificantly different from Pre-exercise; * $p<.05$; ** $p<.01$.

Table 3. Comparative analysis of observational variables among groups over time

| Variables | Group | Pre-exercise | Post-exercise | Rec. 5 min | Rec. 15 min | Rec. 30 min | p |
|------------------------|---------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|
| Lactate | CON | 1.2±0.7 ^{b,*,c,**} | 6.4±1.6 ^{d,*,e,**} | 4.8±1.0 ^{d,*,e,**} | 3.1±0.8 ^{b,*,e,**} | 1.7±1.1 | G: .007 |
| | SP | 1.0±0.4 ^{b,*,c,**} | 4.0±1.2 ^{a,*,c,**} | 2.5±1.0 ^{A,*,a,**} | 2.2±1.0 ^{b,**} | 1.7±0.6 ^{b,**} | T: .000 |
| | SP 150% | 1.1±0.4 ^{b,*,c,**} | 3.8±1.0 ^{A,*,d,**} | 3.0±1.0 ^{A,*,e,**} | 2.2±1.0 ^{b,**} | 1.5±0.4 ^{b,**} | G×T: .002 (CON vs. SP, CON vs. SP 150%, CON vs. SP 200%) |
| | SP 200% | 1.1±0.4 ^{b,*,d,*} | 4.4±1.1 ^{c,*,d,**} | 2.8±0.9 ^{A,*,a,**} | 2.1±0.8 | 1.7±0.6 ^{b,**} | |
| Heat rate | CON | 68.8±12.1 ^{b,*,c,**} | 94.4±19.1 ^{c,**} | 82.8±15.8 ^{e,**} | 78.4±13.4 | 72.8±12.9 ^{b,**} | G: .148 |
| | SP | 71.8±11.9 | 77.3±13.5 | 72.6±9.7 | 75.1±7.9 | 70.0±8.7 | T: .015 |
| | SP 150% | 66.3±11.0 | 73.2±13.4 ^{e*} | 68.4±7.0 | 68.9±7.3 | 65.1±10.6 | G×T: .014 (CON vs. SP) |
| | SP 200% | 67.6±13.1 | 78.9±13.1 ^{e*} | 73.4±12.3 ^{e,*} | 73.6±12.7 | 68.2±11.1 | |
| Systolic pressure | CON | 134.9±15.5 | 141.3±17.8 | 135.2±14.5 | 133.9±10.1 | 134.2±9.3 | G: .337 |
| | SP | 131.4±8.9 | 138.1±11.7 | 126.3±9.9 | 134.2±9.7 | 135.1±15.1 | T: .174 |
| | SP 150% | 133.2±8.8 | 140.1±10.7 | 127.6±9.5 | 130.3±9.1 | 126.1±8.5 | G×T: .464 |
| | SP 200% | 125.6±9.6 | 137.6±15.0 | 128.6±15.0 | 130.0±9.8 | 127.0±8.4 | |
| Diastolic pressure | CON | 80.1±5.8 | 81.0±4.1 | 78.3±5.5 | 77.0±4.1 | 77.8±4.1 | G: .717 |
| | SP | 78.9±2.9 | 78.9±2.9 | 77.1±3.7 | 79.1±2.2 | 75.7±4.5 | T: .593 |
| | SP 150% | 79.3±3.6 | 78.0±4.3 | 80.1±2.4 | 79.6±1.9 | 77.2±3.6 | G×T: .785 |
| | SP 200% | 74.2±5.2 | 80.8±6.3 | 74.2±4.1 | 74.8±3.9 | 73.9±4.9 | |
| Mean arterial pressure | CON | 99.0±4.8 | 101.0±4.1 | 97.3±4.4 | 96.0±3.2 | 96.7±3.3 | G: .466 |
| | SP | 97.1±2.6 | 99.1±2.8 | 94.0±2.9 | 97.4±2.0 | 96.0±3.9 | T: .137 |
| | SP 150% | 98.1±2.9 | 94.4±4.9 | 92.3±4.1 | 86.9±9.8 | 84.1±9.6 | G×T: .411 |
| | SP 200% | 93.5±4.4 | 99.9±5.1 | 93.4±3.4 | 94.5±3.4 | 92.1±3.6 | |
| VAS | CON | 0.2±0.7 | 4.0±2.2 | 1.8±1.9 | 1.8±1.6 | 1.6±1.3 | G: .040 |
| | SP | 0.0±0.0 | 2.0±2.0 ^{A,**} | 0.7±1.4 | 0.2±0.7 ^{A,**} | 0.0±0.0 ^{A,**} | T: .115 |
| | SP 150% | 0.2±0.7 | 2.2±2.5 ^{A,**} | 0.9±1.5 | 0.9±1.5 | 0.4±0.9 | G×T: .139 |
| | SP 200% | 0.0±0.0 | 1.8±1.6 ^{A,**} | 0.7±1.0 | 0.2±0.7 ^{A,**} | 0.0±0.0 ^{A,**} | |
| RPE | CON | 9.9±2.3 | 14.1±2.0 | 12.6±1.3 | 10.8±1.9 | 9.9±2.0 | G: .015 |
| | SP | 9.4±1.7 | 11.9±1.5 ^{A,**} | 10.3±1.4 ^{A,**} | 10.3±1.7 | 9.7±1.7 | T: .096 |
| | SP 150% | 9.2±2.3 | 11.4±2.4 ^{A,*} | 10.3±2.0 ^{A,**} | 9.9±1.8 | 9.9±1.8 | G×T: .064 |
| | SP 200% | 8.3±2.0 | 11.0±1.7 ^{A,**} | 10.1±1.5 ^{A,**} | 10.3±1.0 | 9.7±1.7 | |

Values are mean and SD.

VAS, Visual Analogue Scale; RPE; Rating of Perceived Exertion; CON, Control; SP, individual systolic pressure treatment; SP 150%, Individual 1.5 times systolic blood pressure treatment; SP 200%, Individual 2.0 times systolic blood pressure treatment.

^aSignificantly different from Pre-exercise; ^bSignificantly different from post-exercise; ^cSignificantly different from recovery 5-minute; ^dSignificantly different from recovery 15-minute; ^eSignificantly different from recovery 30-minute; ^ASignificantly different from CON group; ^BSignificantly different from SP group; ^CSignificantly different from SP 150%; ^DSignificantly different from SP 200%; **p* < .05; ***p* < .01.

논 의

최근까지 저강도의 운동강도로 단기간 트레이닝을 통하여 근력의 증가와 근비대를 효과적으로 이끌어내는 운동방법으로써 혈류제한 운동의 효과를 검증하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다. 하지만 대부분의 연구들에서는 앞선 선행연구에서 사용한 임의적인 혈류제한 압력을 사용하고 있으며 몇몇 연구들에서는 논리적으로 설명되지 않은 혈류제한 압력을 설정하여 적용하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 효과적인 혈류제한 운동을 위한 방법으로써 다양한 혈류제한의 압력강도를 설정하여 압력강도별 효과를 비교, 분석하여 최적의 혈류제한 압력을 찾고자 하였다.

1. 혈류제한 운동과 활성산소, CK 및 젖산 반응

혈류제한 압력에 따른 활성산소 생성의 차이를 비교한 결과에서는 시기(*p* = .001)에 의한 유의한 주효과가 나타났으나 상호작용효과나 집단에 따른 차이는 없었다. 혈류제한 처치는 근육의 혈류 이동을 감소 또는 차단함으로써 근육내의 대사체의 증가뿐만 아니라 저산소증을 더 크게 유발하여 운동 종료 후에 발생하는 재관류(reperfusion)로 인한 ROS의 생성을 증가시킬 수 있다. 물론 적당 수준의 활성산소 생성은 세포가 건강한 생명활동을 할 수 있도록 성장과 분화를 돕는 역할 [16]을 하지만 지나친 ROS 생성에 의한 산화스트레스는 생리적 노화를 일으켜 면역 반응에 손상을 주게 된다[17].

현재까지 혈류제한 운동에 따른 ROS의 생성과 관련된 연구는 Neto

et al. [22]의 연구가 유일하다. Neto et al. [22]의 연구에서는 군인들을 대상(19±0.82세)으로 지속적인 혈류제한 운동(20% 1RM with continuous BFR), 간헐적인 혈류제한 운동(20% 1RM with intermittent BFR) 그리고 고강도 저항운동(80% 1RM without BFR)에 따른 산화스트레스 반응을 검토하였고, 본 연구와 마찬가지로 산화스트레스 마커로 TBARS를 측정하였다. 본 연구와 동일한 결과는 집단 간 및 집단×시기의 상호작용효과는 나타나지 않았으나 본 연구결과와는 달리 시기 간에서도 차이가 없었다. 이러한 차이는 아마도 연구에 참여한 대상자들의 규칙적인 저항운동의 참여 여부와 체력적 특성으로 기인한 것으로 판단된다. 즉, 본 연구에 참여한 대상자들은 매일같이 훈련에 참여하는 군인들과는 달리 낮은 체력 수준과 규칙적인 저항운동에 참여하지 않은 대상자들로 군인들과는 차이가 있다. 또한 Lee [23]는 성인남자 10명을 대상으로 무산소성 운동인 자전거 에르고미터를 이용하여 일회성 측정으로 활성산소 생성을 측정한 결과에서는 운동 전과 직후 미세한 농도 차이가 발생하였지만 통계적으로 유의한 차이가 없었으며, 운동 후 120분이 경과된 시점에서 통계적으로 활성산소의 유의한 증가를 보고하였다. 이처럼 본 연구와 다른 결과를 보인 이유는 운동 형태나 운동강도 및 운동소요시간의 차이에서 비롯된 것으로 보인다. Lee [23]의 연구에서는 운동형태와 강도로써 원게이트 테스트 프로토콜을 변형하여 10초간 전력 페달링 운동을 50초간의 정적 휴식시간을 두고 연속적으로 5회 실시하여 운동시간 50초의 운동처치와 3분 20초의 휴식시간을 포함하여 총 4분 10초의 시간이 제공된 반면 본 연구는 1RM을 기준으로 세트 사이 1분 30초의 휴식시간과 함께 3세트를 실시하여 처치 시간은 유사하나 실제 운동소요시간이 길고 운동형태(무산소성 vs. 저항)가 달라 차이가 있었던 것으로 판단된다. 혈류제한 운동과 활성산소 생성에 대한 선행연구가 매우 부족하여 직접적인 비교는 할 수 없었지만 일반적인 운동처치를 사용했던 선행연구에서는 처치방법에 따라 운동 직후 생성되는 활성산소의 농도가 달라질 수 있음을 보고하였다[24]. 본 연구에서도 혈류제한 압력의 차이에 따라 상대적 운동강도의 차이가 발생되어 혈류제한 방법에 따라 운동 직후 활성산소의 농도 차이가 발생할 것으로 가설을 세웠지만 이와 달리 혈류제한 방법 간 활성산소 농도에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 본 연구에서 높은 압력강도(SP 200%, 개인별 수축기혈압의 2배)의 혈류제한을 설정하여 운동처치를 하거나 낮은 압력강도(개인별 수축기혈압)의 혈류제한을 설정하여 운동처치를 하더라도 처치별 활성산소 생성 정도의 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 본 연구에서의 주요 발견 중 하나는 일반적인 저항운동에 비해 혈류제한 압력을 개별 수축기혈압의 두 배까지 높여도 활성산소의 생성에 큰 영향을 미치지 않는다는 것이다. 하지만 일반적인 저항운동에서 5-8가지 종목의 상하체 저항운동을 1회기(session)에 실시한다는 점을 고려하면, 추후 연구에서는 leg extension 한 종목이 아닌 상하체의 다양한 종목을

구성하여 활성산소 생성에 영향을 미칠 수 있는 처치압력을 찾아 보는 것이 필요할 것으로 사료된다.

Creatine kinase (CK)는 시기($p=.000$)에 의한 유의한 주효과가 나타났지만 상호작용효과나 집단 간의 차이는 나타나지 않았다. 일반적으로 근육의 손상은 저항성 운동 시 근육의 수축을 동반하는 과정에서 초래하게 된다. 특히 처음 운동을 하거나 익숙하지 않은 운동 후에 나타나는 근육의 통증은 근육의 손상을 의미할 수도 있다. CK는 급성 혹은 만성적 근육 손상에 따른 조직 손상의 정도를 나타내는 지표로 알려져 있으며[25], 익숙하지 않은 갑작스런 신장성 운동뿐만 아니라 저항운동의 운동강도 또는 운동량에 따라 혈중 CK와 마이오글로빈이 증가하는 것으로 보고되고 있다[26]. 이러한 근육의 손상은 염증반응을 초래할 가능성이 있으며, 근육의 손상과 염증은 서로 관련되어 있는 것으로 보고되고 있다[27]. 이와 관련하여 Neto et al. [22]은 군인들을 대상(19±0.82세)으로, 혈류제한 운동(20% 1RM with BFR)과 고강도 저항운동(80% 1RM without BFR) 후 CK의 반응을 검토하였고, 본 연구와 유사한 결과를 보고하였다. 하지만 Uchida et al. [28]은 운동량을 동일하게 설정한 후 다양한 강도의 저항운동(4 set 50% 1RM, 5 set 75% 1RM, 10 set 90% 1RM, 8 set 110% RM)을 실시하였을 때 75% 1RM을 제외하고 운동 후 CK가 증가하지 않았다고 보고한 연구와는 차이가 있었다. 이러한 차이는 피험자의 체력적 특성 또는 규칙적인 운동참여 정도와도 관련이 있는 것 같다. 그 예로, Uchida et al. [28]의 연구 참여자는 군인으로 최소 1년 이상 주당 3회 이상 유산소(60분 이상/1회)와 저항운동(30분 이상/1회)을 규칙적으로 실시한 사람들을 대상으로 하였고, 본 연구에 참여한 일반 대학생들과는 차이가 있었기 때문이다.

본 연구에서는 모든 운동처치에서 운동 직후 CK의 증가가 관찰됨으로써 평상시 익숙하지 않은 저항성 운동은 근육 손상과 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다. 다만, 모든 운동처치에서 유사한 수준의 증가를 보임으로써 운동처치 간에는 유의한 차이가 관찰되지 않았던 것은 활성산소의 결과와 유사하게 혈류를 제한함으로써 발생 또는 증가되는 상대적 운동강도 또는 운동량(한 종목, leg extension)이 근손상 측면에 있어 유의한 수준이 아님을 확인할 수 있었다. 또한 Schumann & Klauke [29]는 일반적인 CK의 정상한계치가 남성은 350 U/L 이하, 여성은 200 U/L 이하라고 제시하였으며, 본 연구의 결과에서는 운동 직후 310 U/L의 CK 농도를 보임으로써 Schumann & Klauke [29]가 제시한 CK 정상범위에 포함됨을 알 수 있었으며, 이는 본 연구에서 설정한 일반적인 60% 1RM과 혈류제한을 위한 30% 1RM의 운동중량으로 개인별 수축기혈압의 2배(200%)에 해당하는 혈류제한을 실시하여도 CK의 농도는 정상범위를 넘지 않는 안전한 수준의 운동강도를 확인할 수 있었다.

혈중 젖산 농도의 경우, 혈류제한 방법과 시기에 의한 유의한 상호

작용이 나타났다($p=.05$). 최근 혈중 젖산은 새롭게 해석되고 있으며, 특히 운동 중 에너지원으로써 중요한 작용을 한다고 보고되고 있다. 젖산의 생성은 근육의 연료와 간에서의 당신생(glyconeogenesis) 물질을 제공하는 역할[30]뿐 아니라 운동의 강도와 피로도를 평가하는 주요 지표로도 이용된다. 특히, 고강도 운동 중 혈중 젖산 농도가 지나치게 증가될 경우 신체 내 pH가 낮아져 세포 내 효소 활성뿐 아니라 운동에 필요한 에너지 합성 속도를 감소시킴으로써 운동수행능력을 저하시킨다. 이와 관련하여 Neto et al. [31]은 통제집단(고강도 저항운동, 80% 1RM)과 두 집단의 혈류제한 운동으로, 저강도 지속 혈류제한(20% 1RM, 수축기혈압의 1.3배)과 저강도 간헐적 혈류제한(20% 1RM, 수축기혈압의 1.3배) 처치를 실시하여 집단 간 혈중 젖산 농도를 비교하였다. 그 결과 전통적인 고강도 저항운동이 저강도 간헐적 혈류제한보다 젖산 농도가 유의하게 높았다. 이러한 결과는 본 연구의 젖산 농도 변화와 유사한 결과로써 혈류를 제한하지 않았지만 운동강도가 높았던(60% 1RM) 비혈류제한 방법에서 가장 높은 젖산 농도를 보였으며, 혈류를 제한하였지만 운동강도가 낮았던 모든 혈류제한 처치에서 운동 직후와 회복기 5분에서 유의하게 낮은 젖산 농도가 관찰되었다. 즉, 본 연구에서 수행한 운동강도 1RM의 60%인 비혈류제한 방법보다 1RM의 30%인 혈류제한 방법이 상대적 운동강도가 더 낮았음을 의미하는 것으로 생각된다.

2. 혈류제한 운동과 대퇴돌레, 심박수, 혈압, 통증 및 운동자각도

대퇴돌레는 CON 집단(60% 1RM, 0.2% 증가, $p=.752$)과는 달리 SP 집단(1.1% 증가, $p=.010$)과 SP 200% 집단(2.5% 증가, $p=.036$)에서는 운동 전에 비해 운동 직후 유의하게 증가하였고, SP 150% 집단에서는 증가하는 경향만 나타났다(0.9% 증가, $p=.083$). 특히, 본 연구에서는 60% 1RM 전통적인 근력운동에서는 대퇴돌레가 증가하지 않았으나 SP와 SP 200% 처치에서는 통계적으로 유의하게 증가하였으나 SP 150%에서는 증가하는 경향만 나타났다. 이러한 결과는 아마도 30% 1RM의 혈류제한 운동이 70% 1RM의 비혈류제한 운동과 상응하는 효과가 있다는 Hollander et al. [32]의 연구를 지지한다고 할 수 있으며, 이러한 관점에서 결과를 해석하면, 상대적으로 30% 1RM의 혈류제한 운동처치가 60% 1RM의 비혈류제한 운동에 비해 근육 내의 대사체(metabolites)의 축적을 더 증가시키기 때문으로 판단된다. 또한 SP 150% 처치(0.9% 증가)가 SP 처치(1.1% 증가)와 유사한 정도의 대퇴돌레의 증가임에도 불구하고 통계적으로 차이가 나타나지 않은 것은 샘플 사이즈가 작아서 나타나는 결과로 유추되며, 이러한 관점에서 SP 처치와 SP 150%의 처치는 유사하다고 판단된다.

근육의 크기(muscle size)는 근육 내 일어나는 동화작용이나 이화작용을 유도하는 세포 내 신호전달 과정에 의해 조절된다. 또한, 근육 내에서의 단백질 분해보다 합성을 유도하는 신호전달 반응이 많이 일어

날수록 근육 내 단백질 합성이 증가되는데, 이는 근육의 크기 증가(hypertrophy)나 근섬유 수의 증가로 나타난다[33]. Sato et al. [34]은 일시적인 가압트레이닝을 통해 대퇴돌레가 56.0 cm에서 58.0 cm로 2 cm 증가(3.6% 증가)하였고, Wilson et al. [35]의 연구에서도 30% 1RM으로 레그 프레스 30회, 15회, 15회, 15회 4세트 처치 후 비혈류제한 처치와는 달리 혈류제한처치에서 유의하게 대퇴부위의 두께가 증가하였음을 보고하여 본 연구의 결과와 유사한 것이었다.

일반적으로 근비대는 최소 8주 이상의 훈련이 요구된다고 제안하고 있으며[3] 근력훈련에 의한 근비대는 GH-IGF-1 axis를 통한 단백질 합성 증가에 의해 유발되는 것으로 알려져 있다[7]. 그럼에도 불구하고, 본 연구보다 낮은 강도에 해당하는 최대자발적 수축(maximum voluntary contraction)의 20%의 강도로 혈류제한 운동[8]을 수행했을 때 전통적인 70% 1RM의 저항운동 강도와 비교하여 성장호르몬의 분비가 유사하거나 더 많이 분비되었고, 근력의 향상 정도 역시 유사하다는 연구결과들[2,9]은 혈류제한 운동이 필요(노인, 아동, 여성, 우주비행사 등)에 따라 전통적인 고강도 근력운동을 대신할 수 있는 매우 유용한 방법일 수 있음을 의미하는 것이다. 하지만 본 연구에서는 일회성 운동처치로 나타난 결과로 혈류제한군에서 혈류를 제한하지 않은 운동군보다 더 높은 대퇴돌레 증가가 관찰되었으며, 이는 단백질의 합성 증가라기 보다는 근육 내의 일시적인 대사체의 증가에 의한 부종(swelling) 현상으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 근비대는 반복적인 근육의 활성화와 부종으로 유발된다는 점에서 의미 있는 결과로 판단된다.

비록 본 연구에서는 상호작용효과가 나타나지 않아 혈류제한 운동의 압력처치에 따른 효과를 규명할 수는 없었으나 SP 200% (수축기압의 2배)에서 대퇴돌레가 더 크게 증가함을 관찰할 수 있었고, 이러한 처치가 일회성이라는 관점에서 추후 연구에서는 혈류제한 처치압력의 차이에 따른 장기간의 처치 효과를 규명하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 더욱이, 아직까지 혈류제한 운동에 대한 안전성과 방법에 대한 연구들이 부족한 실정이며, 추후 혈류제한에 따른 다양한 운동 강도, 압력 및 압력처치 시간 등을 설정하여 처치 효과에 대한 규명이 필요할 것으로 사료된다.

심박수의 경우, 유의한 상호작용이 나타났고, 사후분석 결과 CON vs. SP의 차이로 운동 직후 CON에 비해 SP 처치에서 혈압이 낮게 증가하는 패턴의 차이에 의한 것이었다. Neto et al. [31]은 23명을 대상으로 1RM의 80% 고강도 저항성 운동군(HI=3 set, 16회/1 set, 각각 8회 biceps curl + knee extension/1 set), 1RM의 20% 저강도 저항성 운동군(LI=3 set, 30회/1 set, 각각 15회 biceps curl+knee extension/1 set), 1RM의 20% (30회/1 set, 각각 15회 biceps curl+knee extension/1 set) 저강도 혈류제한 운동군(LI-BFR)으로 설정하여 심박수를 측정하였다. 그 결과 방법과 방법×시기 간 유의한 차이가 나타나지 않아 본 연구와는 차이를 보였는데, 이는 본 연구와는 운동방법이 다르기 때문에 추

측된다. 그 예로, 본 연구는 모든 집단을 동일하게 반복횟수를 20회로 고정하여 대퇴부위에 혈류제한 처치를 실시하였다면, Neto et al. [31]의 연구에서는 운동 시 상하지 혈류제한과 저항운동의 반복횟수를 달리 적용하였기 때문에 본 연구결과와 차이가 있는 것으로 판단된다. 한편, 시기 간에서 유의한 차이가 나타났고 안정 시의 심박수보다 운동 후, 운동 후 10분, 20분, 30분의 심박수가 높은 것으로 나타났다. 평균 수치를 살펴보면 모든 방법 간 운동 직후에 가장 높은 수치를 보였으며 운동 후 30분까지 계속해서 감소 경향을 보였는데, 이는 본 연구와 유사한 결과이다. 또한 Poton et al. [36]은 건강한 성인을 대상으로 하지 혈류제한적용 후 운동(15 repetitions, 20% 1RM, 45-second rest interval between sets)을 실시하였을 때 비혈류제한 통제군(8 repetitions; 80% 1RM; 1-minute rest interval between sets)에 비해서 비혈류제한군에서 심박수가 증가되었음을 보고하여 본 연구의 결과와 유사하다. 더욱이, 본 연구에서는 이러한 차이가 CON에 비해 SP 집단에서만 나타났다는 점에서 SP 150%와 SP 200%는 CON과 유사한 심장의 혈류역학적 부담을 제공하지만 SP (수축기혈압)의 처치는 심장 부담을 적게 부여할 수 있다는 점에서 의미 있는 것으로 판단된다. 비록 본 연구에서는 집단 간의 유의한 차이는 나타나지 않았지만 혈류제한 운동방법이 운동 직후 상대적으로 비혈류제한 운동방법보다 낮은 심박수를 보였다. 이는 통제군의 경우 혈류를 제한하지 않았지만 상대적으로 높은 운동강도(1RM의 60%)로 운동을 진행한 반면 혈류제한 방법에서는 1RM의 30%로 상대적으로 낮은 중량운동을 진행했기 때문에 판단된다. 한편, 집단 간의 차이는 나타나지 않았으나 본 연구의 혈류제한 운동방법 중에서는 SP 200%의 운동방법에서 가장 높은 심박수 증가 경향을 보임으로써 혈류제한 압력이 높아질수록 심박수의 상승을 유발할 수 있음을 확인할 수 있었다.

개인별 수축기와 이완기혈압 및 평균동맥압 모두 시기와 집단 그리고 상호작용효과 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다. 혈압이란 혈액을 순환시키는 원동력으로써 심실이 수축하게 되면서 대동맥으로 박출되어 혈액의 일부가 즉시 동맥을 통해 말초로 이동되거나 나머지는 미처 말초로 운반되지 못하고 일시적으로 대동맥으로 잔류하게 되고, 그 자체의 용적보다 많은 혈액량을 수용하기 때문에 동맥 혈관 내에는 압력이 생기는데 이를 동맥압이라 한다. Maier et al. [37]은 남성 15명을 대상으로 고강도 저항성 운동(80% 1RM), 저강도 혈류제한 운동(40% 1RM with BFR)으로 두 그룹을 설정하여, 일회성 운동처치 시 혈압의 변화를 비교, 분석하였다. 그 결과, 두 집단 간 운동 전과 직후의 수축기와 이완기혈압은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 본 연구에서도 네 가지의 처치에 따른 개인별 수축기와 이완기혈압 및 평균동맥압에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 Maier et al. [37]의 연구결과와 동일하다. 또한 Neto et al. [31]은 정상혈압의 남성 24명을 대상으로 1RM의 80% 고강도 저항성 운동(HI), 1RM의 20% 저강도

저항성 운동(LI), 1RM의 20% 혈류제한 운동(LI-BFR)과 통제군(CON)을 설정하여 혈압의 일회성 변화를 관찰하였으며, 그 결과 집단 간의 차이는 없었으나, 통제군을 제외한 운동그룹에서 수축기, 이완기혈압 모두 운동 후 10분, 20분, 30분, 60분까지 계속 감소하여 안정 시 보다 낮은 수치를 보고하였다. 특히, 임상적인 관점에서 2 mmHg의 수축기와 이완기혈압의 작은 감소가 뇌졸중(stroke)의 위험을 각각 14%와 17% 그리고 관상동맥질환의 위험은 각각 9%와 6% 낮춘다는 점에서 의미 있는 결과라 할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 운동 후 혈압 감소가 나타나지 않았고, 이러한 결과 차이는 아마도 운동량의 차이에 의한 것으로 판단된다. 그 예로, Neto et al. [31]의 연구에서는 상하체를 운동처치에 포함시킴으로써 본 연구에 비해 운동량이 많았다. 일반적으로 운동은 고혈압 치료를 위한 중재방법으로 알려져 있으며, 일회성 운동으로 나타나는 안정 시보다 낮은 혈압감소 현상을 운동 후 저혈압(post-exercise hypotension, PEH)이라 한다[38]. 하지만 이러한 PEH 현상은 운동량과 강도 그리고 유산소 운동[39]과 저항운동의 순서[40]에 따라서도 다르게 나타나기 때문이다. 따라서 본 연구의 경우는 운동 후 혈압을 낮출 정도의 운동량 또는 강도가 충분치 않았기 때문으로 판단된다.

한편, 일반적으로 심혈관계질환과 관련된 연구를 진행할 경우 고혈압이 있는 대상자에게 저항운동의 실시 여부에 대한 내용이 서로 다른 실정이다. 그 중 Motykie et al. [40]과 Loenneke et al. [42]은 고혈압환자(>140/90 mmHg)에게 혈류제한 운동을 처치할 경우 위험이 크다고 판단하여 사전검사 시 고혈압으로 판단되는 경우 철저히 제외시켜야 한다는 주장을 하고 있으나 Neto et al. [31]의 연구결과에 따르면 혈류제한 운동이 오히려 고혈압환자들에게 심혈관질환을 극복할 수 있는 좋은 운동이라는 가능성을 제시하고 있다. 따라서 향후 연구에서는 혈류제한 운동의 운동량에 따른 혈압 반응에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

시각적 통증 사상척도(VAS)와 운동자각도(RPE) 모두 상호작용효과와 시기의 주효과는 나타나지 않았으나 처치방법에 따른 주효과는 차이가 있었다. VAS의 경우는 CON에 비해 혈류제한 처치 집단들이 운동 직후, 안정 시 15분과 30분에서 유의하게 낮은 것으로 나타났다. VAS는 대표적인 통증자각도 검사로서 실험 대상자 본인 스스로 기입하는 수치를 측정하는 방법이며, 다른 통증자각도에 비해 신뢰도가 우수하지만 실험대상자의 주관적 수치를 나타내므로 객관적이지 못한 단점을 가지고 있다[43]. 그러나 통증의 경우에는 주관적 증상에 의존하는 경우가 많고 그 판정 역시도 그에 따르는 경우가 많다. 본 연구에서는 운동 직후, 안정 시 15분과 30분에서 통제군이 혈류제한처치보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 처치 강도(60% 1RM vs. 30% 1RM)에서 비롯된 것으로서 혈류제한 방법에서는 통제군보다 낮은 중량강도(30% 1RM)를 사용했기 때문으로 판단된다. 즉, 수축기혈압의 2배(개인

별 220-280 mmHg)에 해당하는 강한 혈류제한 압력이 가해짐에도 불구하고 그로 인한 국부적인 통증이 유의하게 발생되지 않았음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 30% 1RM의 혈류제한 운동은 혈류제한 압력이 수축기혈압의 두 배에서도 심각한 통증을 유발하지 않는다는 것을 의미한다.

또한, 시각적 통증척도와 함께 운동 중 상태를 대상자의 주관적인 의견으로 측정하는 운동자각도(RPE)가 현장에서 많이 활용되고 있다. RPE 역시 상호작용효과와 시기의 주효과는 나타나지 않았으나 처치방법에 따른 주효과는 차이가 있었다. RPE의 경우는 CON에 비해 혈류제한 처치집단들이 운동 직후와 안정 시 5분에서 유의하게 낮은 것으로 나타났다. 이는 앞선 시각적 통증 사상척도의 결과와 유사한 내용으로 RPE가 운동 강도가 높았던 CON에서 가장 높게 나타났음은 통증과 함께 운동 처치강도에 관련이 있을 수 있음을 추측할 수 있었다.

본 연구와 유사한 결과를 보인 Vieira et al. [44]은 혈류제한 유무에 따른 팔꿈치 신장성 운동을 실시한 후 RPE를 측정한 결과, 저항도 혈류제한군에 비해 비혈류제한 고강도 운동군에서 높은 RPE 수치를 볼 수 있었다. 하지만 Loenneke et al. [45]은 16명을 대상으로 운동강도를 같은 1RM의 30%를 설정하여 혈류제한 유무에 따른 레그익스텐션 운동 후 RPE를 측정한 결과, 혈류제한을 적용한 그룹이 수치가 더 높았다고 보고하였으며, Loenneke et al. [46]의 연구에서도 혈류제한을 적용한 후 엘라스틱 밴드를 이용하여 저항운동을 실시하였을 때 각 세트에서 비혈류제한군보다 RPE가 높게 나타났다고 보고하였다. 이는 본 연구 결과와 상이하나 운동강도가 같을 때의 혈류제한 처치유무에 대한 반응으로 본 연구의 실험설계와는 차이가 있다. 반면에 Wernbome et al. [47]은 레그익스텐션을 1RM의 30%로 같은 운동 강도를 설정한 후 혈류제한 유무에 따른 RPE 효과를 관찰하기 위하여 한쪽다리에는 혈류제한을 적용하고 반대쪽 다리는 혈류제한을 적용하지 않은 후 실험을 진행한 결과, 두 다리 모두 유사한 RPE 수치의 결과를 보고함으로써 RPE 변화에 있어서 혈류제한은 중요한 요인이 아니라고 제안하기도 했다. 결과적으로, 본 연구 결과에 비추어볼 때 RPE는 수축기혈압과 수축기혈압의 2배에 해당하는 혈류제한 압력범위에서는 혈류제한 압박 강도보다는 운동강도에 더 많은 영향을 받을 것으로 판단된다. 따라서 추후 연구에서는 혈류제한 압력강도가 RPE에 미치는 영향을 규명하기 위한 처치부하강도에 따른 혈류제한 압력강도의 규명이 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구결과를 종합해볼 때, 반복횟수가 동일하다는 조건에서의 30% 1-RM의 수축기혈압 이상의 혈류제한처치는 60% 1RM의 전통적

인 저항운동에 비해 대퇴근육의 둘레를 효과적으로 증가시키는 것 같다. 비록 저항도(30% 1RM)의 혈류제한처치(SP, SP 150%, SP 200%)와 비혈류제한처치(60% 1RM) 모두 운동 직후에 활성산소의 생성과 CK를 일시적으로 증가시키지만 산화스트레스와 근손상은 유발시키지 않는다. 더욱이 젓산과 심박수 그리고 VAS와 RPE 반응을 고려할 때, 혈류제한처치를 이용한 저항도 저항운동(30% 1RM with BFR)은 전통적인 저항운동(60% 1RM without BFR)에 비해 대사적 및 혈류역학적 부담을 낮추어 덜 힘들게 느끼면서 근비대 효과를 높일 수 있는 운동이라 판단된다. 추후 연구에서는 한 가지 종목(leg extension)이 아닌 다양한 종목의 확대(5-8개)와 일회성이 아닌 장기간의 혈류제한처치 운동에 대한 산화스트레스 및 다양한 대사적, 혈류역학적 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Vanhelder WP, Radomski MW, Goode RC. Growth hormone responses during intermittent weight lifting exercise in men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1984;53(1):31-4.
2. Kraemer RR, Kilgore JL, Kraemer GR, Castracane VD. Growth hormone, IGF-I, and testosterone responses to resistive exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24(12):1346-52.
3. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):687-708.
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. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Abe T, Bembem MG. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypotheses.* 2012;78(1):151-4.
6. Takano H, Morita T, Iida H, Asada K, Kato M, 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(1):65-73.
7. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, CF K, et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *Int J KAATSU Train Res.* 2005;1(1):6-12.
8. Pierce JR, Clark BC, Ploutz-Snyder LL, Kanaley JA. Growth hormone and muscle function responses to skeletal muscle ischemia. *J Appl Physiol.* 2006;101(6):1588-95.

9. Reeves GV, Kraemer RR, Hollander DB, Clavier J, Thomas C, et al. Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *J Appl Physiol*. 2006;101(6):1616-22.
10. Sato Y. The history and future of KAATSU training. *Int J KAATSU Train Res*. 2005;1(1):1-5.
11. Wernbom M, Augustsson J, Thomee R. Effects of vascular occlusion on muscular endurance in dynamic knee extension exercise at different submaximal loads. *J Strength Cond Res*. 2006;20(2):372-7.
12. Freitas EDS, Poole C, Miller RM, Heishman AD, Kaur J, et al. Time Course Change in Muscle Swelling: High-Intensity vs. Blood Flow Restriction Exercise. *Int J Sports Med*. 2017;38(13):1009-16.
13. 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(5):1199-209.
14. Ji LL, Kang C, Zhang Y. Exercise-induced hormesis and skeletal muscle health. *Free Radic Biol Med*. 2016;98:113-22.
15. Schoenfeld BJ. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med*. 2013;43(3):179-94.
16. Kretschmar M, Muller D. Aging, training and exercise. A review of effects on plasma glutathione and lipid peroxides. *Sports Med*. 1993;15(3):196-209.
17. Vincent KR, Vincent HK, Braith RW, Lennon SL, Lowenthal DT. Resistance exercise training attenuates exercise-induced lipid peroxidation in the elderly. *Eur J Appl Physiol*. 2002;87(4-5):416-23.
18. Greenhaff PL, Soderlund K, Ren JM, Hultman E. Energy metabolism in single human muscle fibres during intermittent contraction with occluded circulation. *J Physiol*. 1993;460:443-53.
19. O'Connor R, O'Connor B, Simmons J, O'Shea P. *Weight training today*. Thomson Learning; 1989.
20. Cole B. Physical rehabilitation outcome measures. *Ca Physio Assn*. 1994.
21. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med*. 1970;2(2):92-8.
22. Neto GR, Novaes JS, Salerno VP, Goncalves MM, Batista GR, et al. Does a resistance exercise session with continuous or intermittent blood flow restriction promote muscle damage and increase oxidative stress?. *J Sports Sci*. 2018;36(1):104-10.
23. Lee HS. Effects of anaerobic exercise on circulating leukocytes, reactive oxygen species production in neutrophils and lactate concentration in human. *Exerc Sci*. 2012;21(2):263-70.
24. Boccatonda A, Tripaldi R, Davi G, Santilli F. Oxidative Stress Modulation Through Habitual Physical Activity. *Curr Pharm Des*. 2016;22(24):3648-80.
25. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull*. 2007;81-82:209-30.
26. Gleeson M, Almey J, Brooks S, Cave R, Lewis A, et al. Haematological and acute-phase responses associated with delayed-onset muscle soreness in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995;71(2-3):137-42.
27. Goodall S, Thomas K, Barwood M, Keane K, Gonzalez JT, et al. Neuromuscular changes and the rapid adaptation following a bout of damaging eccentric exercise. *Acta Physiol*. 2017;220(4):486-500.
28. Uchida MC, Crewther BT, Ugrinowitsch C, Bacurau RF, Moriscot AS, et al. Hormonal responses to different resistance exercise schemes of similar total volume. *J Strength Cond Res*. 2009;23(7):2003-8.
29. Schumann G, Klauke R. New IFCC reference procedures for the determination of catalytic activity concentrations of five enzymes in serum: preliminary upper reference limits obtained in hospitalized subjects. *Clin Chim Acta*. 2003;327(1-2):69-79.
30. Brooks GA. Current concepts in lactate exchange. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23(8):895-906.
31. Neto GR, Sousa MS, Costa e Silva G, Gil AL, Salles BF, et al. Acute resistance exercise with blood flow restriction effects on heart rate, double product, oxygen saturation and perceived exertion. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2016;36(1):53-9.
32. Hollander DB, Reeves GV, Clavier JD, Francois MR, Thomas C, et al. Partial occlusion during resistance exercise alters effort sense and pain. *J Strength Cond Res*. 2010;24(1):235-43.
33. Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*. 2004;34(10):663-79.
34. Sato Y, Ishii N, Nakajima T, Abe T. KAATSU training: theoretical and practical perspectives. *goudan co*. 2007.
35. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, Naimo MA. Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *J Strength Cond Res*. 2013;27(11):3068-75.
36. Poton R, Polito MD. Hemodynamic responses during lower-limb resistance exercise with blood flow restriction in healthy subjects. *J Sports Med Phys Fitness*. 2015;55(12):1571-7.

37. Maior AS, Simao R, Martins MS, de Salles BF, Willardson JM. Influence of Blood Flow Restriction During Low-Intensity Resistance Exercise on the Postexercise Hypotensive Response. *J Strength Cond Res.* 2015;29(10):2894-9.
38. Pescatello LS, Franklin BA, Fagard R, Farquhar WB, Kelley GA, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(3):533-53.
39. Canuto PMBC, Nogueira IDB, Cunha ES, Ferreira GMH, Mendonça KMPP, et al. Influence of resistance training performed at different intensities and same work volume in bp of elderly hypertensive female patients. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte.* 2011;17(4):246-9.
40. Kim DY, Park DH, Kim CS. The Effects of Sequence of Aerobic and Resistance Exercise on Blood Pressure and Nitric Oxide Level. *J Korean Society of Living Environmental System.* 2013;20(2):158-67.
41. Motykie GD, Zebala LP, Caprini JA, Lee CE, Arcelus JI, et al. A guide to venous thromboembolism risk factor assessment. *J Thromb Thrombolysis.* 2000;9(3):253-62.
42. Loenneke JP, Kim D, Fahs CA, Thiebaud RS, Abe T, et al. The influence of exercise load with and without different levels of blood flow restriction on acute changes in muscle thickness and lactate. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2017;37(6):734-40.
43. Wewers ME, Lowe NK. A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Res Nurs Health.* 1990;13(4):227-36.
44. Vieira A, Gadelha AB, Ferreira-Junior JB, Vieira CA, Soares Ede M, et al. Session rating of perceived exertion following resistance exercise with blood flow restriction. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2015;35(5):323-7.
45. Loenneke JP, Thiebaud RS, Fahs CA, Rossow LM, Abe T, et al. Blood flow restriction does not result in prolonged decrements in torque. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(4):923-31.
46. Loenneke JP, Kearney ML, Thrower AD, Collins S, Pujol TJ. The acute response of practical occlusion in the knee extensors. *J Strength Cond Res.* 2010;24(10):2831-4.
47. Wernbom M, Jarrebring R, Andreasson MA, Augustsson J. Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load. *J Strength Cond Res.* 2009;23(8):2389-95.