

# Effects of Different Sizes of Blood Flow Restriction Areas on Changes in Muscle Thickness

Jae-Cheol Park<sup>1</sup>, Mi-Sook Park<sup>1</sup>, Yong-Nam Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Graduate School, Nambu University, Gwangju, <sup>2</sup>Department of Physical Therapy, Nambu University, Gwangju, Korea

**Purpose:** This study was conducted to examine the effects of different sizes of blood flow restriction areas on the thickness of the external oblique and biceps brachii.

**Methods:** The study subjects were 52 adults who were divided into four groups that performed plank exercises over a six-week period after blood flow restriction. Changes in the thickness of the external oblique and biceps brachii were measured using ultrasonography before the experiment, then three and six weeks after the experiment. The changes in each variable over time were evaluated by repeated-measures analysis of variance (ANOVA).

**Results:** The external oblique and biceps brachii showed significant differences in muscle thickness with regard to time and the interaction between time and each group ( $p < 0.01$ ), but no significant differences with regards to changes between groups ( $p > 0.05$ ).

**Conclusion:** A larger blood flow restriction area resulted in a statistically significant increase in muscle thickness. The results of this study may be used as the basis for future studies and for rehabilitation in clinical practice.

**Keywords:** Blood flow restriction, Plank exercise, Thickness, Ultrasonography

## 서론

건강한 사람의 경우 근비대와 근력 향상을 위해서 보통 12주 이상의 훈련과 점진적 과부하 운동이 필요하며, 개인의 체력수준에 따라 다르지만 대부분 운동강도에 비례한다.<sup>1</sup> 근두께와 근력 증가의 효과를 위해서는 1 RM (repetition maximum)의 70-80%의 부하 운동과 반복 저항 운동이 일반적으로 권장되며,<sup>2</sup> 그 이하의 운동강도나 점진적인 자극 강도가 없으면 근비대와 근력의 향상은 힘들다. 근두께 증가에 이득이 있는 고강도 운동은 심혈관계 질환이나 체력 수준이 낮은 노인, 부상을 입고 재활을 시작하는 사람들에게 또 다른 부상을 일으킬 수 있는 요인으로 새로운 운동 방법의 개발이 필요하다. 근력과 근두께 증가를 위한 수많은 운동방법이 보고 되었으며,<sup>3,7</sup> 저강도 운동만으로도 고강도 운동과 같은 효과를 내는 운동방법이 있다. 최근 일본에서 개발된 혈류 제한 운동은 팔과 다리에 공압식 커프를 이용해 혈류 제한 후 저강도 운동만으로 근력 향상과 근육 비대 증가를 발생시키고, 1 RM의 20-30% 저강도 운동에서 1 RM의 70-80% 고강도 운동방식과 유사한 운동 효과가 있다고 하였다.<sup>8</sup>

혈류 제한 운동은 낮은 강도의 1 RM의 20% 이하에서 훈련을 하지 만 근육 내 저산소화와 내분비계, 심혈관계, 신경근 활동 강화와 근비대 효과 등이 있다.<sup>9</sup> 혈류 제한을 하게 되면 심장에서 신체 말단 부위 근육으로 혈액이 도달하기 어렵게 되고 신체 말단에서 심장으로 혈액이 회귀 또한 제한되기 때문에 혈류 제한 말단 부위는 저산소 환경이 되며, 활동근육과 주변 조직의 혈액 순환 환경을 변화시키는 특징이 있다.<sup>10</sup> 더불어 저산소화 환경에서의 운동은 내분비계의 활성화를 가져오는데, 저강도 유산소 운동의 경우 낮은 농도의 성장호르몬이 분비되고,<sup>11</sup> 무산소 운동처럼 고강도 저항 운동에서 성장호르몬의 농도가 증가되는 것처럼<sup>12</sup> 혈류 제한으로 무산소 환경으로 변하는 면적이 발생하여 낮은 저강도의 운동만으로도 성장호르몬이 발생한다. 성장호르몬 분비가 되면 국소적으로 작용하기보다 전신에 효과를 나타내며, 근세포의 성장 및 근력의 발달을 촉진하는 것으로 알려져 있다.<sup>13,14</sup> 근육에 관여하는 성장호르몬의 감소는 체지방량과 근력 감소에 영향을 미친다고 하였고,<sup>15</sup> You 등<sup>16</sup>은 8주간 혈류 제한 후 혈중 호르몬 농도의 변화 연구에서 혈류 제한하지 않은 군에 비해 혈류 제한 군에서 12.7 mg/mL 증가를 했고, 1 RM의 20% 강도로 혈류 제한

Received Feb 28, 2017 Revised Apr 11, 2017

Accepted Apr 11, 2017

Corresponding author Yong-Nam Kim

E-mail kyn0231@nambu.ac.kr

Copyright ©2017 The Korea Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute 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.

근력 트레이닝을 하여 성장호르몬의 유의한 증가를 보고하여,<sup>17</sup> 혈류 제한으로 무산소 환경의 면적을 조절하여 발생하는 성장호르몬 증가가 단백질 합성과 근력이나 두께 증가를 가져올 거라는 가설을 세우고 그 효과를 확인하고자 하였다.

혈류 제한 선행연구를 보면 근육 크기 증가,<sup>18,19</sup> 근력의 향상,<sup>20,21</sup> 지구력 향상,<sup>22</sup> 성장호르몬의 분비 촉진,<sup>23,24</sup> 복합근 활동전위 증가<sup>25</sup> 등에 효과적임을 보고하고 있다. 하지만 선행연구들은 대부분이 팔이나 다리 한 부분에 혈류 제한 후 전,후 비교에 국한되어 있는 실정이며, 본 연구처럼 팔 또는 다리 그리고 팔과 다리를 함께 혈류 제한을 하여 무산소 환경의 면적을 조절하여 무산소 환경이 커질수록 무산소 환경의 상태에 있는 팔의 근육과 유산소 환경에 있는 몸통 근육의 두께 비교에 대한 영상 구조적 특성에 관한 연구는 전혀 없는 실정이다. 그러므로 본 연구는 혈류 제한으로 무산소 면적의 변화를 주어 무산소 환경 상태에 있는 위팔두갈래근의 근두께 변화와 혈류 제한을 하지 못하는 유산소 환경의 몸통 근육인 배바깥빗근의 근두께 변화를 비교 분석하고자 하며 임상에서의 재활 운동프로그램에 기초 자료로 활용하는 데 목적이 있다.

**연구 방법**

**1. 연구대상**

본 연구에 참여한 대상자는 광주 N대학 20대 건강한 성인 52명이다. 남자 32명, 여자 20명으로 혈류 제한을 하지 않은 플랭크 운동군 (flank exercise group, FG) 13명, 팔에만 혈류 제한 후 플랭크 운동군 (upper limb blood flow restriction flank exercise group, U-BFRFG) 13명, 다리에 혈류 제한 후 플랭크 운동군 (lower limb blood flow restriction flank exercise group, L-BFRFG) 13명, 팔과 다리에 혈류 제한 후 플랭크 운동군 (upper limb and lower limb blood flow restriction flank exercise group, UL-BFRFG) 13명으로 나누었고 각 군마다 남자 8명, 여자 5명씩 배정하여 실험을 진행하였다. 각 실험 대상자들은 연구에 참여를 동의한 자와 수축기 혈압이 140 mmHg 이상 확장기 혈압이 90 mmHg를 넘지 않는 자, 근·골격계 질환 및 6개월 이상 정기적인 운동을 하지 않은 자, 운동 프로그램을 수행할 수 없는 대상자는 제외하였다. 실험 대상자의 분류는 연구자의 임의 배정방식에 의하여 무작

위로 설정되었으며, 2016년 3월부터 6개월간 시행하였으며, 연구대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다.

**2. 실험방법**

혈류 제한을 위해 수은식 혈압계를 이용하여 만든 간이 가압 벨트를 U-BFRFG는 양쪽 팔 겨드랑이 바로 아래 부위에, L-BFRFG는 양쪽 다리 살고랑부위 아래에, UL-BFRFG는 양쪽 겨드랑이 바로 아래와 다리의 살고랑 아래부분에 혈류 제한을 하였다. 가압 벨트의 압력은 누운 자세에서 팔에 80 mmHg 다리는 100 mmHg 압력을 1주 간격으로 10 mmHg씩 점진적으로 증가시켜 3주차에는 팔 100 mmHg와 다리는 120 mmHg를 적용하여 총 6주간 운동을 실시하였다. 운동 자세는 엎드린 자세에서 어깨관절과 팔꿈치관절이 일직선 상에 있게 하고 팔꿈치관절을 90° 굽힘을 하여 아래팔을 바닥에 대고 운동 시작과 동시에 발가락과 팔꿈치를 이용하여 몸을 지탱하였고 시선을 바닥을 향하게 하였으며 체간과 다리부위가 일직선 상에 위치하게 하여 등척성 운동을 총 6주간 주 3회 1일 30분씩 중재하였다.

**1) 측정도구**

근육의 두께 측정을 위한 초음파영상 수집은 초음파영상 장치 (V2u health care, Singapore) 이용하여 측정하였으며, 이 장치의 주파수 변조범위는 6.5-8.5 MHz이고 gain의 범위는 20-80이다. 초음파 변환기는 3.5 MHz 선형탐촉자 (linear transducer)이며, 측정자 간의 차이를 최소화하기 위해 복부에 대한 해부학적 지식과 초음파 검사에 숙달된 물리치료사 1인의 측정자가 검사하였으며, 근육 측정 자세는 반드시 누운 자세를 취하고 배꼽에서 바깥쪽으로 13 cm, 전상장골극 (ASIS)에서 직선이 만나는 지점에서 초음파 화면에 배바깥빗근이 왼쪽 가장자리에 위치하게 설정하여 측정하였고, 호흡이 근두께에 영향을 미칠 것을 고려하여 호기 후 호흡을 멈춘 상태에서 측정하였다.<sup>26</sup> 위팔두갈래근은 앉은 자세에서 몸통에 팔을 부친 후 팔굽관절을 90도 굽힌 상태에서 위팔두갈래근의 근복 시작부위를 확인하고 3 cm 간격으로 점을 찍어 가운데 부위를 측정하였다. 측정부위를 정확히 유지하기 위해 유성펜으로 표시한 후 시행하였으며, 피부의 압박을 최소화하기 위해 충분한 양의 초음파 젤 (Dayo medical CO., PRO-GEL-II, Korea)을 도포하였다. 측정이 일정하게 되도록 변화기를 피부

**Table 1.** General characteristics of subjects

	FG (N=13)	U-BFRFG (N=13)	L-BFRFG (N=13)	UL-BFRFG (N=13)	p
Age (year)	21.7±1.48	21.7±1.48	21.8±1.34	21.5±1.26	0.705
Height (cm)	171.6±5.23	169.3±8.44	168.0±7.04	168.3±5.85	0.423
Weight (kg)	75.1±17.92	71.6±18.82	66.00±8.66	66.9±8.05	0.408
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	25.3±5.33	24.6±4.84	23.38±2.78	23.5±2.22	0.056

FG: flank exercise group, U-BFRFG: upper limb blood flow restriction flank exercise group, L-BFRFG: lower limb blood flow restriction flank exercise group, UL-BFRFG: upper limb and lower limb blood flow restriction flank exercise group, BMI: body mass index.

와 직각으로 유지하여 좌측 근의 근막과 근막 사이를 3회 반복 측정 후 그 평균값을 근육의 두께로 정하였다.

2) 분석방법

모든 자료는 SPSS ver 19.0 통계 프로그램을 이용하여 분석하였고, 대상자의 일반적 특성의 정규분포 여부를 알아보기 위해 단일표본 Kolmogorov-smirnov 검정을 하여 정규분포가 인정되어 네 그룹의 운동 전과 운동 3주 후, 운동 6주 후의 측정 변인에 대한 변화를 알아보기 위해 반복측정분산분석(repeated measure ANOVA)을 이용하였다. 개체 내 효과 검정에서 시기와 군 간 상호작용이 있는 경우에는 일원 배치 분산분석(one-way ANOVA)을 하였고 사후검정으로는 Scheffe 다중비교분석을 하였다. 통계학적 유의성을 검증하기 위하여  $\alpha = 0.05$  로 설정하였다.

결 과

1. 배바깥빗근의 근두께 변화

각 군의 배바깥빗근의 근두께에 대한 반복측정분산분석 결과 근두께 변화에서 시기별, 시기와 군 간 상호작용은 유의한 차이를 보였고

( $p < 0.01$ ), 집단 간 변화에서 통계학적으로 유의한 차이가 없었다 ( $p > 0.05$ ). 상호작용 확인을 위해 일원배치분산분석 결과 L-BFRFG와 UL-BFRFG에서 측정 전과 6주 후에서 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ) (Table 2, Figure 1).

2. 위팔두갈래근 근두께 변화

각 군의 위팔두갈래근의 근두께에 대한 반복측정분산분석 결과 근두께 변화에서 시기별, 시기와 군 간 상호작용은 유의한 차이를 보였고( $p < 0.01$ ), 집단 간 변화에서 통계학적으로 유의한 차이가 없었다 ( $p > 0.05$ ). 상호작용 확인을 위해 일원배치분산분석 결과 U-BFRFG와 L-BFRFG, UL-BFRFG에서 측정 전과 6주 후에서 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ) (Table 2, Figure 2).

고 찰

본 연구는 전통적 몸통 안정화 운동인 플랭크 운동을 이용하여 혈류 제한 면적에 따른 유산소 환경의 배바깥빗근과 무산소 환경의 위팔두갈래근의 근두께 변화를 보고자 6주간 FG, U-BFRFG, L-BFRFG, UL-BFRFG으로 총 네 그룹으로 나누어 초음파 영상분석을 이용하

Table 2. Comparison of external oblique abdominis and biceps brachii muscle thickness (unit: mm)

		Pre a	3 weeks b	6 weeks c	F			Post-hoc
					Time	Group	Time X Group	
EO-T	FG	0.62±0.15	0.65±0.15	0.67±0.16	439.493*	0.444	21.108*	a,b,c
	U-BFRFG	0.61±0.16	0.68±0.17	0.76±0.17				
	L-BFRFG	0.60±0.13	0.69±0.11	0.78±0.11				
	UL-BFRFG	0.61±0.14	0.71±0.13	0.81±0.13				
BB-T	FG	3.39±0.64	3.40±0.64	3.39±0.62	209.498*	0.314	25.563*	a,b,c
	U-BFRFG	3.21±0.59	3.54±0.58	3.84±0.61				
	L-BFRFG	3.15±0.34	3.38±0.34	3.66±0.36				
	UL-BFRFG	3.18±0.58	3.53±0.58	3.93±0.59				

EO-T: external oblique abdominis thickness, BB-T: biceps brachii thickness, FG: flank exercise group, U-BFRFG: upper limb blood flow restriction flank exercise group, L-BFRFG: lower limb blood flow restriction flank exercise group, UL-BFRFG: upper limb and lower limb blood flow restriction flank exercise group, Post-hoc: one way ANOVA. \* $p < 0.01$ .

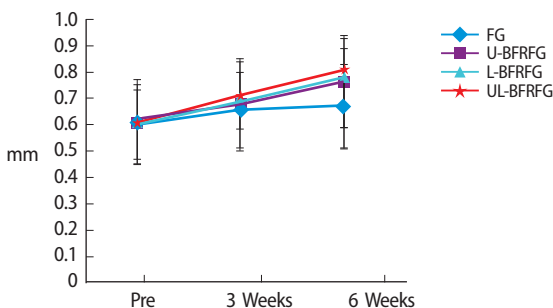


Figure 1. Comparison of external oblique abdominis muscle thickness.

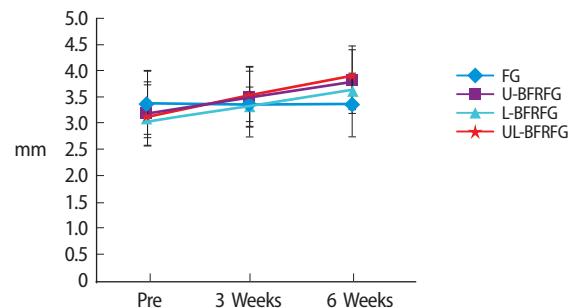


Figure 2. Comparison of biceps brachii muscle thickness.

여 근두께를 비교하고자 하였다.

초음파를 이용한 근두께의 측정 방법은 골격근의 기능적 변화를 알아보는 데 유용한 방법이며 정적 및 동적인 상태에서 실시간 적용할 수 있는 장점이 있으며, 심부 구조의 측정에 꼭 필요한 장비이다.<sup>27</sup> 또한 비침습적으로 측정할 수 있으며, 초음파 영상도 신뢰도 연구에서 신뢰도가 높다고 하였으며,<sup>28</sup> 팔과 다리 근육이나 골반바닥 근육, 가로막 근육의 비대를 측정하는데 신뢰성과 타당도가 입증되었다.<sup>29</sup>

이러한 초음파를 이용한 연구결과 배바깥근의 두께 변화에서 FG는 0.05 mm의 증가가, U-BFRFG는 0.15 mm로, L-BFRFG는 0.18 mm로, UL-BFRFG는 0.2 mm으로 증가하였다. 반복측정분산분석 결과 시기별, 시기와 군 간 상호작용에서 유의한 차이가 있었고( $p < 0.01$ ), 집단 간 변화에서는 유의하지 않았다( $p > 0.05$ ). 상호작용에서 유의한 차이가 있지만 집단 간 변화에서는 유의한 차이가 발생하지 않은 것은 가면효과(masking effect)로 상호작용이 주 효과를 가리는 효과 때문이며,<sup>30</sup> 이러한 결과가 발생한 것으로 생각되며, 시기와 군 간 상호작용을 확인하고자 일원배치분산분석을 시행하였다. 사후검정 결과 L-BFRFG와 UL-BFRFG에서 측정 전과 6주 후에서 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). 근두께 선행연구에서 초음파를 이용하여 40명으로 혈류 제한 여부에 따른 몸통 근육의 두께 변화에서 혈류 제한군의 배바깥근에서 시기별, 시기와 군 간 상호작용에서 유의한 증가를 보고하였고,<sup>19</sup> 노인 19명을 상대로 혈류 제한을 이용하여 레그 프레스 운동을 12주간 실시한 후 MRI 측정결과 넓다리 네갈래근의 둘레가 증가하였다고 보고하였다.<sup>18</sup> Abe<sup>31</sup>은 혈류 제한 후 트레드밀에서 느리게 걷기 운동만으로 근비대 증가에 효과적이라고 보고하여 혈류 제한으로 인한 효과는 본 연구결과와 일치하였고, 유산소 환경의 배바깥근은 혈류 제한 면적이 클수록 FG, U-BFRFG, L-BFRFG, UL-BFRFG순으로 근두께가 증가하였다. 이러한 변화는 팔과 다리를 함께 혈류 제한함으로써 무산소 환경의 면적이 증가함에 따라 극한 무산소 환경에서의 운동은 성장호르몬이 많이 발생하는 것처럼, 혈류 제한 면적이 가장 큰 UL-BFRFG에서 많은 대사산물이 축적되어 이를 회복하기 위해 성장 억제인자는 감소하고 성장 촉진인자는 증가하는 변화가 발생하였으며, 그로 인해 근육 성장에 관련된 근위성세포 증식이 촉진되었고,<sup>32</sup> 다른 군에 비해 근육 단백질 합성이 많이 증가하여 II형 타입인 배바깥근의 두께가 증가한 것으로 생각된다. 배바깥근의 근두께 증가폭을 보면 몸통 근두께 증가를 위해서는 많은 면적에 혈류를 제한하는 게 몸통 근육의 두께 증가 개선 가능성이 시사되는 흥미로운 결과로 생각된다.

무산소 환경에 있는 위팔두갈래근의 근두께 변화는 유산소 환경의 몸통 근육과는 조금 달랐다. FG은 변화가 없었고, U-BFRFG은 0.63 mm로 L-BFRFG은 0.50 mm로, UL-BFRFG은 0.74 mm로 증가하였다. 반복측정분산분석 결과 시기별, 시기와 군 간 상호작용에서 유

의한 차이가 있었고( $p < 0.01$ ), 집단 간 변화에서 유의하지 않았다( $p > 0.05$ ). 일원배치분산분석의 사후검정 결과 U-BFRFG, L-BFRFG, UL-BFRFG에서 측정 전과 6주 후에서 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). 혈류 제한 면적이 클수록 가장 큰 폭의 두께 변화가 관찰되었고 혈류 제한 면적이 L-BFRFG에 비해 작지만 U-BFRFG에서 혈류 제한 적용 부위 이후 근육의 두께가 증가하였다. 위팔 굽힘근에 대한 혈류 제한 운동의 경우 훈련하지 않은 위팔 펌근에서도 비대가 발생했다는 연구처럼,<sup>23</sup> 근비대 전이로,<sup>24</sup> 인한 결과와 근생검(muscle biopsy) 연구에서 Type-I 섬유(5.9%)보다, Type-II 섬유(27.6%)의 양자 혹은 주로 Type-II 섬유의 비대를 확인하여,<sup>33</sup> 위팔두갈래근이 II형 타입인 것을 고려하면 이러한 결과는 설명된다. 또한, 무산소 환경 면적이 커질수록 많이 발생하는 성장호르몬은 뼈와 연골 근육의 성장과 인슐린양성자 인자(IGF-1)의 합성을 유발하여 근육의 합성대사작용(anabolic-4-action)을 활성화시켜 보다 많은 양의 단백질 합성과 근육 성장에 중요한 역할을 하여,<sup>34</sup> 위팔두갈래근의 두께에 영향을 미쳤을 것으로 생각되며, 더불어 혈류 제한으로 인해 속근을 포함한 다수의 운동단위 활성화도가 커져서,<sup>35</sup> 혈류 제한 면적이 가장 큰 UL-BFRFG에서 많은 두께 변화가 발생하였고 U-BFRFG와 L-BFRFG 순으로 근비대를 유발된 것으로 생각된다.

배바깥근과 위팔두갈래근의 결과를 종합해보면 혈류 제한 면적이 클수록 유산소 환경의 근육과 운동을 하지 않는 무산소 환경의 근육의 두께가 증가하는 것을 확인하여, 어느 부위든 근두께 증가를 위해서는 혈류 면적을 크게 할수록 효과가 증가한다는 결과를 도출하였다. 혈류제한운동의 위험성은 알려진 것은 없지만, 반복적으로 또는 장시간의 혈관의 압박은 압박이 제거된 이후에도 혈관의 재관류가 발생하지 않을 수 있다는 연구가 보고 되었기에,<sup>35</sup> 장시간의 혈류 제한운동은 주의해야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 특정 연령층을 대상으로 하고 적은 운동 시간과 운동량, 대상자 수가 적어서 이 연구 결과를 일반화하는 데는 무리가 있고 근육의 변화와 함께 호르몬의 변화 추이를 확인하지 못하게 제한점으로 남는다. 하지만 혈류 제한 면적에 따른 변화는 긍정적으로 생각되며, 차후에 충분한 대상자와 실험기간, 운동량, 나이의 다변화, 초음파로만 연구하여 확인하지 못했던 생리·생화학적 변화에 대한 분석을 통해 질적연구가 필요하며 재활 운동프로그램의 개발 연구가 필요할 것으로 생각이 든다.

## 참고문헌

1. Wilmore JH, Costill DL, Larry KW. Physiology of sport and exercise. 4th ed. Champaign, Human Kinetics, 2008.
2. 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):687-08.
3. Lee WJ, Park S, Park JW. Influence of trunk stabilization exercise upon the lumbar stabilization and foot pressure in patients with back pain. *J Kor Phys Ther.* 2014;26(1):21-6.
  4. Shim HB, Cho HY, Choi WH. Effects of the trunk stabilization exercise on muscle activity in lumbar region and balance in the patients with hemiplegia. *J Kor Phys Ther.* 2014;26(1):33-40.
  5. Yeom JN, Lim CG. Change of static and dynamic foot pressure after trunk stabilization exercises in children with spastic diplegic cerebral palsy. *J Kor Phys Ther.* 2014;26(4):274-9.
  6. Yu JY, Park JC, Jeong JG. Influence of multi-directional dynamic stabilization exercise on thickness of abdominal muscle. *J Kor Phys Ther.* 2016;28(4):249-53.
  7. Park JC, Yu JY, Hwang TY et al. Effects of stabilization exercise on the structural characteristics of trunk muscles between stable and unstable surfaces. *J Kor Phys Ther.* 2016;28(5):297-302.
  8. Loenneke JP, Welson JM, Marin PJ et al. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(5):1849-59.
  9. Sato Y, Ishii N, Nakajima T. KAATSU training: theoretical and practical perspectives. Tokyo, Kodansha, 2007.
  10. Takano H, Morita T, Iida H 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.
  11. Pritzlaff-Roy CJ, Widemen L, Weltman JY et al. Gender governs the relationship between exercise intensity and growth hormone release in young adults. *J Appl Physiol.* 2002;92(2):2053-60.
  12. Nindl BC, Hymer WC, Deaver DR et al. Growth hormone pulsatility profile characteristics following acute heavy resistance exercise. *J Appl Physiol.* 2001;91(1):163-72.
  13. Sinha HI, Artaza J, Woodhouse L et al. Testosterone-induced increases in muscle size in healthy young men is associated with muscle fiber hypertrophy. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2002;283(1):154-64.
  14. Beekley MD, Sato Y, Abe T. KAATSU-Walk training increases serum bone-specific alkaline phosphatase in young men. *Int J KAATSU Training Res.* 2005;1(2):77-81.
  15. Yoo JH, Kim SS, Kim MK et al. The responses of testosterone, growth hormone, IGF-1, cortisol on resistance exercise of various intensities. *KAHPERD.* 2004;43(3):713-25.
  16. You JM, Park HC, Yoon SJ. The effects of different resting intervals in strength training with vascular occlusion on hormonal response and muscular strength. *KAHPERD.* 2008;47(6):645-58.
  17. Fujita S, Abe T, Drummond MJ et al. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol.* 2007;103(3):903-10.
  18. Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T et al. Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24(5):799-806.
  19. Prak JC, Kim YN. Impact of waist stabilization exercise with blood flow restriction on white area index of trunk muscle thickness density. *J Kor Phys Ther.* 2016;28(2):136-41.
  20. Patterson SD, Ferguson RA. Enhancing strength and postocclusive calf blood flow older people with training with blood-flow restriction. *J Aging Phys Act.* 2011;19(3):201-13.
  21. Jun JY, Park MC. The effect of stair exercise with restriction blood flow on knee extensor muscle. *J Korean Soc Phys Med.* 2015;10(4):9-14.
  22. Sumide T, Sakuraba K, Sawaki K et al. Effect of resistance exercise training combined with relatively low vascular occlusion. *J Sci Med Sport.* 2009;12(1):107-12.
  23. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S et al. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol.* 2000;88(1):61-5.
  24. 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(6):585-92.
  25. Kim LJ. Changes of compound muscle action potential after low-intensity exercise with transient restriction of blood flow: a randomized, placebo-controlled trial. *J Phys Ther Sci.* 2009;21(4):361-6.
  26. Hodges PW, Gandevia SC. Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *J Appl Physiol.* 2000;89(3):967-76.
  27. Rankin G, Stokes M, Newham D. Size and shape of the posterior neck muscles measured by ultrasound imaging: normal values in males and females of different ages. *Man Ther.* 2005;10(2):108-15.
  28. Lee JA, Kim SY. Reliability of ultrasonography for the longus colli asymptomatic subjects. *J Kor Phys Ther.* 2011;23(4):59-66.
  29. Braekken IH, Majida M, Engh ME et al. Morphological changes after pelvic floor muscle training measured by 3-dimensional ultrasonography: a randomized controlled trial. *Obstet Gynecol.* 2010;115(2pt1):317-24.
  30. Sung NK. Analysis and experiment of repetitive measurement. Gyeonggi, Free Academy, 1997:113.
  31. Abe T, Kearns CE, Fujita S et al. Skeletal muscle size and strength are increased following walk training with restricted leg muscle blood flow: implications for training duration and frequency. *Int J KAATSU Training Res.* 2009;5(1):9-15.
  32. Abe T, Loenneke JP, Fahs CA et al. Exercise intensity and muscle hypertrophy in blood flow-restricted limbs and non-restricted muscle: a brief review. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2012;32(4):247-52.
  33. Yasuda T, Abe T, Sato Y 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(2):65-70.
  34. Yakar S, Rosen CJ, Beamer WG et al. Circulating levels of IGF-1 directly regulate bone growth and density. *J Clin Invest.* 2002;110(6):771-81.
  35. Kawada S. What phenomena do occur in blood flow-restricted muscle? *Int J KAATSU Training Res.* 2005;1(2):37-44.