혈류제한을 이용한 허리안정화운동이 만성 허리통증 환자의 근력 및 근지구력, 보행에 미치는 영향

박재철, PT, PhD¹, 문달주, PT, PhD², 이상호, PT, PhD^{*3}

¹전남과학대학교 물리치료학과, ²대구과학대학교 물리치료학과, ^{*3}선문대학교 물리치료학과

Effect of Lumbar Stabilization Exercise using Blood Flow Restriction on Muscle Strength, Muscular Endurance, and Gait in Patients with Chronic Back Pain

Jae-Cheol Park, PT, PhD¹, Dal-Ju Mun, PT, PhD², Sang-Ho Lee, PT, PhD^{*3}

¹Dept. of Physical Therapy, Chunnam Techno University, Republic of Korea

²Dept. of Physical Therapy, Taegu Science University, Republic of Korea

^{*3}Dept. of Physical Therapy, Sunmoon University, Republic of Korea

Purpose The purpose of this study was to investigate the effect of back stabilization exercise using leg blood flow restriction on the muscular strength, muscular endurance, and gait of the trunk flexor and extensor muscles in patients with chronic low back pain. **Methods** Among 26 men and women diagnosed with chronic back pain, 13 patients in the Blood flow restriction waist stabilization exercise (BFRSG) and 13 patients in the Lumbar stabilization exercise (LSG) were enrolled. The subjects were trained for 8 weeks. **Results** Changes in both legs, changes in left leg support, changes in left leg swing, changes in left leg support, changes in left leg swing, changes in both legs support, and changes in minute velocity were significantly decreased by period, period and group interaction ($p<0.05$). There was no significant difference between groups. Changes in trunk flexor strength and muscular endurance showed significant increases by period, interaction, and group change, and changes in trunk extensor strength and muscular endurance showed significant increases by period and interaction. **Conclusion** In patients with chronic low back pain, back stabilization exercise using blood flow restriction in the legs showed changes in gait and improvement of trunk flexor strength and muscular endurance.

Key words Lumbar stabilization exercise, Blood flow restriction, Strength, Endurance

Corresponding author Sang-Ho Lee (fedor07@hanmail.net)

Received date 04 Sep 2021

Revised date 06 Oct 2021

Accept date 12 Oct 2021

1. 서론

혈류제한운동은 팔다리의 먼쪽에 탄성밴드 또는 무릎 랩을 감싸 혈관을 일시적으로 좁게 만들어 팔다리의 근력 및 근지구력, 근육의 크기를 증가하기 위한 것으로 신체근위부의 혈류를 제한하는 방식이다.¹⁾ 혈류제한이 저항운동과 함께할 때 사지의 높은 수준에 물질대사가 진행되고 스트레스가 유발된다.²⁾

혈류제한운동은 작동근육의 몸통 부위에 공기압축식 커프 및 급속팽창 시스템을 이용한 외부압력이 적용되어 사지의 폐쇄부위 먼쪽에 있는 동맥혈류를 감소시키는 동시에 정맥순환을 차단한다.³⁾ 혈류제한저항운동은 팔다리에 적용된 커프 및 탄성밴드로 인한 팔다리의 불편감은 오히려 운동강도를 증가시킬 수도 있다.²⁾ 따라서 기존의 고강도부하운동만 고집하던

전통적 패러다임과는 다르게 저강도 저항운동을 포함한 혈류제한은 근육긴장도와 근비대를 크게 향상한다.⁴⁾

혈류제한운동의 훈련강도는 유산소운동을 비롯한 무산소운동 그리고 신체적 활동에 대한 근육수행능력의 변화를 유발한다.³⁾ 혈류제한운동은 근육의 팽윤과 함께 물질대사의 산물을 축적하는데 근육단백질의 합성증가 및 신경주행증가, 글리코겐사용증가 그리고 특정유전자의 발현변화를 일으킨다.⁵⁾

저강도 혈류제한운동은 근육 비대를 촉진하는 독특한 훈련 방식으로 물질대사의 축적 및 섬유유형의 활성화, mTOR 신호전달을 비롯한 다양한 기전을 작동시킨다.⁶⁾ 저강도 혈류제한운동은 근육의 혈류감소로 인한 저산소증을 촉진하고 이는 연속적 해당작용을 하는 근육섬유의 동원을 증가시키고 젖산 축적의 유발과 물질대사의 산증지속, 근육내 양성자의 축적(H^+ , pH 감소)를 통한 물질대사 수용체를 자극 그리고 인체 성장호르몬체계의 과장된 급성반응을 유발한다.^{4,6)}

<http://dx.doi.org/10.17817/2021.10.06.1111674>

혈류제한저항운동의 임상 및 기초과학측면 모두에 대한 많은 질문이 확실히 남아 있지만 높은 기계적 부하에 대해 다소 독립적일 수 있는 기존의 전통적 근력강화방식에 도전하는 것처럼 보이고 흥미롭다.⁷⁾ 본 연구는 만성 허리통증 환자에서 다리의 혈류제한을 이용한 허리안정화 운동이 몸통굽힘근과 펌근의 근력, 근지구력 그리고 보행에 어떤 영향을 주는지를 알아보고자 하는 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구대상 및 연구기간

본 연구는 2020년 12월 1일부터 2021년 2월 28일까지 전남에 K지역의 만성 허리 통증환자 남녀 26명을 무작위할당으로 혈류제한을 이용한 허리 안정화 운동군(Blood flow restriction waist stabilization exercise; BFRSG) 13명, 허리 안정화 운동군(Lumbar stabilization exercise; LSG) 13명을 배정하였다. 만성 허리통증환자를 대상으로 허리 원반탈출증, 정형외과적 질환, 척수 악성종양, 대사성질환, 외과적 수술을 받은 자, 최근 3주 이상 운동을 하고 있는 자, 고혈압, 척추관협착, 정신질환이 있는 자는 제외되었고, 연구 참여자의 동의 얻어 연구를 실시하였다(Table 1).

2. 측정도구

(1) 보행 측정 방법

보행 분석을 위해 트레드밀(FDM-T system, zebris medical GMBH, Germany)를 이용하여 측정하였다. 보행분석에 이용된 트레드밀은 바닥에 발판 센서가 112cm x 49cm에 콘덴서 방식의 센서가 3,432개 내장되어 정확한 보행분석이 가능하고 샘플링 비율(sampling rate)은 100Hz 빠른 표본 주파수를 사용하였다. 측정된 자료는 WINFDM - T program을 통해 수집하였으며 측정 방법으로 트레드밀 앞 정면에 응시기준점을 만들어 실험자 보행 전 시선을 맞추었고 보행을 실시할 때도 기준점을 보면서 보행을 실시하였다. 출발점도 동일 하게 하기 위해 바닥면도 일정하게 표시를 하여 측정하였으며 트레드

밀의 속도를 4.9초로 설정하였으며 경사 각도는 수평(0%)를 이용하였다. 1분간 보행 패턴 측정을 본 데이터로 이용하였다.

(2) 근력과 지구력 측정 방법

표 몸통의 굽힘근과 펌근의 최대 수의적 등척성 수축력(MVIC)를 측정하기 위해 McGill 등이 이제시한 방법을 수정하여 제작한 삼각형 경사대와 동력계(Dynamometer biopac system MP150, USA)를 이용하였다.⁸⁾

굽힘과 펌근의 최대 수의적 등척성 수축력 측정을 위해 정삼각형 경사대를 침대에 올려 두고 단단하게 고정하였으며, 대상자가 경사대 앞에 앉은 자세로 경사대에 기대게 하였다. 그 후 몸통을 X반도로 고정한 후 동력계와 연결하여 최대 굽힘 운동을 하였고, 펌근 측정은 반대로 앉게 하여 최대 펌 운동을 시행하였다.

몸통의 굽힘근과 펌근의 근지구력시간(muscle endurance time)을 측정하기 위해 대상자에게 최대 수의적 등척성 수축력을 유지하게 요구하였고 자세는 근력 측정과 같은 자세로 최대 수의적 등척성 수축력의 최초 값에서 50% 이하로 감소한 시점에서 MP150 프로그램에 내장된 초 시계로 근지구력을 측정하였다.

3. 중재방법

혈류 제한을 위해 만든 간이 벨트를 이용하여 BFRSG의 왼쪽과 오른쪽 무릎관절에서 10cm 떨어진 윗부분에 운동이 방해되지 않게 혈류 제한을 적용하였다.⁹⁾ 혈류제한 압력은 실험 1주차부터 2주차까지는 150mmHg의 압력을 주었고 4주 후에는 200mmHg의 압력을 이용하였으며 측면 교각운동(side bridge exercise), 교각운동(bridge exercise)을 재구성하여 총 8주간 주 3회 30분간 운동을 실시하였다. 측면교각 운동은 어깨관절과 팔꿈관절을 일직선상에 두어 시작과 동시에 허리를 들어 올려 운동을 하였고, 교각운동은 무릎관절과 발목 관절을 일직선 상에 위치하게 하여 교각운동을 하였으며, 30초 등척성운동 후 30초 휴식을 하여 운동을 하였다. 운동 구성은 운동 전 5분간 가벼운 스트레칭을 하였고 본 운동 20분 가벼운 스트레칭을 이용한 마무리 운동 5분으로 구성하였다. 허리

Table 1. General characteristics of subjects

	BFRSG (n=13)	LSG (n=13)	P
Age (year)	46.53±4.15	46.83±4.78	0.727
Height (cm)	165.15±7.97	164.07±9.24	0.515
Weight (kg)	69.15±12.37	71.76±7.07	0.966
Gender	Male	5	
	Female	8	

BFRSG: Blood flow restriction waist stabilization exercise, LSG: Lumbar stabilization exercise

안정화 운동군은 측면 교각운동과 교각운동을 혈류 제한이 없는 상태에서 혈류제한을 이용한 허리 안정화 운동군과 같은 방법으로 운동을 하였다.

4. 분석 방법

본 연구는 SPSS 19.0 프로그램을 이용하여, 대상자 일반적 특성 정규분포를 알아보기 위하여 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test)을 이용하였다. 두 그룹의 운동 전, 3주 후, 6주 후의 보행 변화를 확인하기 위해 이 요인 반복측정 분산분석(two-way repeated ANOVA)을 실시하였으며, 시기와 군간 상호작용이 있는 경우 집단 간 차이를 확인하기 위해 독립표본 t-검정(independent t-test)을 실시하였다. 통계적 유의성을 검증하기 위한 유의수준(α)은 0.05로 하였다.

III. 결 과

1. 보행변화

발디딤간격(step width) 변화, 왼쪽 발디딤거리(left step

length) 변화, 왼쪽 다리 디딤기(left stance phase)의 변화, 오른쪽 다리 흔들기(right swing phase)의 변화, 두다리디딤기(double support)의 변화, 분당 걸음수(cadence)의 변화는 시기별, 시기와 군간 상호작용에서 유의한 감소가 있었고($p < 0.05$), 집단간 변화에서는 유의한 차이가 없었다(Table 2).

2. 근력변화

몸통굽힘근육의 근력 변화 변화는 시기에 따라 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 시기와 군간 상호작용에서 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 또한 집단간 변화에도 차이가 있었다($p < 0.05$). 몸통펴기근육의 근력 변화는 시기에 따라와 시기와 군간 상호작용에서 유의한 차이가 있었고($p < 0.05$), 집단간 변화에는 차이가 없었다(Table 3).

3. 근지구력 변화

몸통굽힘근육의 지구력의 변화는 시기에 따라 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), 시기와 군간 상호작용에서도 유의한 차이가 있었으나($p < 0.05$), 집단간 변화에는 차이가 없었다. 몸통펴기근육의 근지구력의 변화는 시기에 따라 유의한 차이가 있었

Table 2. Gait change in each group

		Pre	4 weeks	8 weeks		F	P
SW	BFRSG	10.92±2.25	9.84±2.15	9.07±2.06	Time	14.255	0.000
	LSG	10.76±1.53	10.84±1.46	10.23±2.08	Time x Group	5.078	0.010
	t			1.418	Group	0.858	0.364
	p			0.169			
SL	BFRSG	72.76±1.53	74.15±1.62	75.69±1.70	Time	22.225	0.000
	LSG	73.15±2.51	73.61±2.43	73.92±2.72	Time x Group	7.614	0.001
	t			1.987	Group	0.680	0.418
	p			0.058			
LSP	BFRSG	62.13±1.12	61.53±1.22	60.72±1.04	Time	11.665	0.000
	LSG	61.82±1.17	61.55±1.14	61.49±1.33	Time x Group	4.214	0.028
	t			1.637	Group	0.137	0.715
	p			0.115			
RSP	BFRSG	37.86±1.12	38.46±1.22	39.27±1.04	Time	12.350	0.000
	LSG	38.18±1.18	38.44±1.14	38.50±1.48	Time x Group	4.953	0.016
	t			1.526	Group	0.123	0.729
	p			0.140			
TD	BFRSG	23.53±1.72	22.76±2.35	22.22±2.03	Time	15.221	0.000
	LSG	23.28±1.81	23.06±1.80	22.95±2.29	Time x Group	5.357	0.008
	t			0.860	Group	0.112	0.741
	p			0.398			
SC	BFRSG	120.07±2.69	118.69±2.65	116.76±3.11	Time	7.236	0.004
	LSG	120.00±4.39	119.30±5.55	119.30±5.94	Time x Group	4.055	0.031
	t			1.363	Group	0.406	0.530
	p			0.186			

SW: Step width, SL: Step length, LSP: Left stance phase, RSP: Right swing phase, TD: Total double, SC: Support cadence

Table 3. Changes in strength and muscular endurance in the group

		Pre	4 weeks	8 weeks		F	P
TFS	BFRSG	57.88±16.35	70.40±18.07	82.62±12.05	Time	8.714	0.001
	LSG	56.28±13.09	57.66±10.83	59.40±19.65	Time x Group	5.246	0.009
	t			3.631	Group	7.314	0.012
	p			0.001			
TES	BFRSG	69.11±17.29	81.61±14.09	91.35±12.17	Time	76.051	0.000
	LSG	67.46±19.02	71.36±19.58	78.50±20.21	Time x Group	9.424	0.000
	t			1.962	Group	1.557	0.224
	p			0.061			
TFE	BFRSG	21.73±6.11	30.05±5.70	39.58±4.68	Time	53.805	0.000
	LSG	21.42±8.78	23.70±11.43	24.86±13.91	Time x Group	33.664	0.000
	t			3.613	Group	4.349	0.048
	p			0.001			
TEE	BFRSG	25.36±8.88	33.30±8.17	42.39±8.46	Time	98.161	0.000
	LSG	23.55±9.83	26.33±9.20	31.53±9.44	Time x Group	13.499	0.000
	t			3.087	Group	3.644	0.068
	p			0.005			

TFS: Trunk flexion strength, TES: Trunk extension strength, TFE: Trunk flexion endurance, TEE: Trunk extension endurance

고($p<0.05$), 시기와 군간 상호작용, 집단간 변화에도 차이가 있었다($p<0.05$)(Table 3).

IV. 고 찰

Hill(2020)은 36명의 여성을 대상으로 4주동안 편심성, 동심성, 등척성 최대수축, 근육 두께 및 근활성화를 운동하지 않은 팔에서 평가하였는데 저부하 등척성 혈류제한운동이 운동하지 않은 반대쪽 팔다리의 근력을 향상은 증가된 대뇌피질의 흥분성과 척추반사로 인한 신경적응과 교차교육(cross-education)의 결과로 보고하였다. 종합적으로, 교차교육은 신경 적응에 의해 촉진되고 운동하지 않은 반대쪽 팔다리의 근력증가를 설명하고 편심성 근수축을 이용하여 강화될 수 있다.¹⁰⁾ 본 연구의 혈류제한을 이용한 허리안정화 운동군과 허리안정화 운동군에서 양 발 너비 변화는 시기에 따라 유의한 차이가 있었고, 시기와 군간 상호작용에서 유의한 감소가 있었으나, 집단간 변화에는 유의한 차이가 없었다. 이 같은 결과는 등척성 혈류제한운동이 운동하지 않은 반대쪽 팔다리의 근력향상을 통해 증가된 대뇌피질의 흥분성과 신경적응 그리고 교차교육으로 판단되며, 집단간 변화에는 유의한 차이가 없는 이유는 상호작용이 주 효과를 가려 발생하는 가면효과(masking effect)인 것으로 생각된다.¹¹⁾

Marzilger등(2020)은 편심운동의 속도 증가에 따른 생리적 단면적 및 가쪽넓은근의 근막길이 조절을 연구하였는데 가

쪽넓은근의 근막길리와 근육섬유각도는 운동 후 변경되지 않았고 이는 운동 후 무시할 수 있는 방사형 근육적응을 나타낸다고 하였고, 높은 속도의 편심운동은 가쪽넓은근육의 비대를 만들었으며 이것은 근수축 최소단위인 근절의 가소성에 따른 세로근육다발의 발달로 보았으며 세로근육다발의 성장은 속도와는 무관하다고 하였다.¹²⁾ 본 연구의 혈류제한을 이용한 허리안정화 운동군과 허리안정화 운동군에서 왼쪽 발디딤거리 변화는 시기에 따라 그리고 시기와 군간 상호작용에서 유의한 차이가 있었고, 집단간 변화에는 유의한 차이가 없었다. 이는 허리안정화운동이 근육단백질의 합성증가와 증가된 신경주행, 증가된 글리코겐사용, 특정 유전자 발현변화로 인한 무릎주의의 근육적응과 비대라고 판단된다.

Okamura등(2020)은 발바닥의 내재성근육 강화 운동이 정적 및 동적 발 운동학에 미치는 영향을 연구하였는데 짧은 발 운동은 보행 중 발 운동학의 시간에 따른 변수들이 효과적으로 변화시켰는데 최소값에 도달하는 발배뼈의 높이에 대한 시간을 줄여 선천성 편평발이 있는 대상자들의 보행에서 감아올리기 기전(windlass mechanism)을 향상시켰다.¹³⁾ 본 연구의 혈류제한을 이용한 허리안정화 운동군과 허리안정화 운동군에서 왼쪽다리의 지지기의 변화는 시기에 따라 그리고 시기와 군간 상호작용에서 유의한 차이가 있었으며, 집단간 변화에는 유의한 차이가 없었다. 이는 허리안정화운동이 무릎뿐만 아니라 발목주의의 근육적응과 비대를 유발하였다고 판단된다.

Faras등(2019)은 24명의 참가자를 대상으로 한쪽다리의

혈류제한이 시간 및 공간보행 매개변수에 미치는 영향을 연구하였는데 비우세다리의 짧은 보행과 보행길이 그리고 단일지지시간의 변화는 있었지만, 우세다리의 혈류제한은 보행속도, 분당 걸음수 그리고 두다리디딤기에 큰 변화를 주지 않았다고 보고하였다.¹⁴⁾ 본 연구의 혈류제한을 이용한 허리안정화 운동군과 허리안정화 운동군에서 오른쪽 다리 흔들기변화는 시기별, 시기와 군간 상호작용에서 유의한 감소가 있었고, 집단간 변화에서 유의한 차이가 없었다. 이는 보행 중 혈류제한운동이 보행의 공간적 및 시간적 측면이 변화를 통한 피드백의 감소와 흥분성반사의 조절변화를 유발하였다고 판단된다.

Linero와 Choi(2021)은 26명의 여성을 대상으로 12주동안 혈류제한운동을 하였는데 저항도저항훈련(LIBFR)시 혈류제한운동은 기존의 저항도저항훈련(LIRT)에 비해 폐경후 저골밀도 여성의 근력, 젖산농도, 뼈형성마커 및 균형을 증가시키는데 더 효과적인 것을 보고하였다.¹⁵⁾ 본 연구의 혈류제한을 이용한 허리안정화 운동군과 허리안정화 운동군에서 양다리 지지기의 변화는 시기별, 시기와 군간 상호작용에서 유의한 감소가 있었고, 집단간 변화에서 유의한 차이가 없었다. 이는 신체의 폐쇄압력이 물질대사 축적을 자극하고 신경근연결을 증가한다고 판단된다.

Amani-Shalamzar등(2019)은 혈류제한압력과 운동강도의 다양한 조합이 신체활동을 하는 여자대학생의 유산소 및 무산소 그리고 근 적응력에 미치는 영향에 대해 연구하였는데 완전폐색을 한 집단이 산소결핍증가와 대사스트레스 증가로 인한 근력 및 유산소 그리고 혐기성 매개변수의 가장 큰 향상을 보고하였다.³⁾ 본 연구의 BFRSG와 LSG군에서 분당 걸음수 변화는 시기별, 시기와 군간 상호작용에서 유의한 감소가 있었고, 집단간 변화에서는 유의한 차이가 없었다.

Silva등(2015)은 15명의 골다공증여성을 대상으로 혈류제한 근력운동의 만성적효과를 연구하였는데 혈류제한과 저항도 근력 운동이 골다공증 노인의 동적최대근력증가에 효과적이라고 보고하였다.¹⁶⁾ 본 연구의 혈류제한을 이용한 허리안정화 운동군과 허리안정화 운동군에서 몸통굽힘근력의 변화는 시기와 시기와 군간의 상호작용 그리고 집단간 변화에서 차이가 있었다. 이는 뼈대근의 운동단위의 신속한 동원과 관련된 근육내 변화 및 신경활동이라고 볼 수 있다.

Sakamak 등(2011)은 17명의 건강한 성인남성을 대상으로 걷기훈련이 다리의 혈류제한과 보행운동이 다리근육과 허리근육의 비대에 미치는 영향을 연구하였는데 그 결과 느린 걷기훈련과 다리근육의 혈류제한이 먼쪽 혈류 제한다리근육의 근육 비대를 유발한다고 하였다. 그 결과 느린 걷기훈련과 다리근육의 혈류제한이 먼쪽부위의 근육비대를 유발하고 보행 중에는 운동 강도가 너무 낮아 혈류제한부위의 대둔근 및 기타 몸통근육에서 비대를 유발한다고 하였다.¹⁷⁾ 본 연구의 혈

류제한을 이용한 허리안정화 운동군과 허리안정화 운동군에서 몸통굽힘 근력의 변화는 시기에 따라 유의한 차이, 시기와 군간 상호작용에서 유의한 차이가 있었고, 집단간 변화에는 차이가 없었다. 이는 운동 중 근육비대가 급성조직부종과 근육 활성화의 순환적 동화작용호르몬의 매개증가라고 판단된다.

Yasuda 등(2011)은 30명의 건강한 남성을 대상으로 고강도 저항 훈련과 혈류제한과 저항도저항운동에 따른 팔다리와 몸통 근육 비대의 관계를 연구하였는데 팔다리와 몸통근육의 비대가 고강도저항훈련 동안 동시에 발생하지만 혈류제한을 포함한 저항도 저항운동에서는 근육비대가 발생하지 않았다.¹⁸⁾ 본 연구의 혈류제한을 이용한 허리안정화 운동군과 허리안정화 운동군에서 몸통굽힘의 근지구력의 변화는 시기에 따라 유의한 차이와 시기와 군간 상호작용에서 유의한 차이가 있었지만 집단간 변화에는 차이가 없었다. 이는 혈류제한을 통한 근육의 동화작용효과이라고 볼 수 있다.

Amano등(2016)은 몸통굽힘의 근지구력이 좋지 않은 32명의 재발성 요통환자를 대상으로 전통적 허리펴기운동과 혈류제한과 허리펴기운동의 비교에서 혈류제한이 있는 허리펴기운동에서 몸통굽힘근육의 크기가 향상하였다고 하였다.¹⁹⁾

본 연구는 만성 허리통증 환자에게 혈류제한을 이용한 허리안정화 운동이 몸통 굽힘근과 폼근의 근력, 근지구력 그리고 보행에 미치는 영향을 알아보고자 하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 몸통 굽힘근 근력과 근지구력의 변화는 시기별, 상호작용, 군간 변화에서 유의한 증가가 있었고 몸통 폼근의 근력과 근지구력 변화는 시기별, 상호작용에서 유의한 증가를 보였다. 따라서 본연구의 결과를 바탕으로 혈류제한을 이용한 허리안정화 운동군이 만성 통증 환자에게 몸통굽힘근과 몸통 폼근의 근력과 근지구력 개선에 영향을 미칠 수 있는 것으로 사료된다. 향후 본 연구에서 확인하지 못한 몸통과 다리근육에 대한 세부적인 근력과 근지구력과 혈류제한의 개인차이에 대한 후속 연구가 계속되었으면 한다.

References

1. Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *European Journal of Applied Physiology*. 2002;86:308-14.
2. Aniceto RR, Robertson RJ, Silva AS, et al. Is rating of perceived exertion a valid method to monitor intensity during blood flow restriction exercise? *Human Movement*. 2021;22(2):68-77.
3. Amani-Shalamzari S, Rajabi S, Rajabi H, et al. Effects of blood flow restriction and exercise intensity on aerobic, anaerobic, and muscle strength adaptations in physically

- active collegiate women. *Frontiers in Physiology*. 2019;10:810.
4. Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ. Exercise and blood flow restriction. *Journal of strength and conditioning research*. 2013;27(10):2914-26.
 5. Scott BR, Slattery KM, Sculley DV, et al. Hypoxia and resistance exercise: A comparison of localized and systemic methods. *Sports Medicine*. 2014;44(8):1037-54.
 6. Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, et al. Low intensity blood flow restriction training: A meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112:1849-59.
 7. Manini TM, Clark BC. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2009;37(2):78-85.
 8. McGill SM, Karpowicz A. Exercise for spine stabilization motion/motor patterns, stability progression, and clinical technique. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2009;90(1):118-26.
 9. Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *Journal of Applied Physiology*. 2006;100:1460-6.
 10. Ishii N, Madarame H, Odagiri K, et al. Circuit training without external load induces hypertrophy in lower-limb muscles when combined with moderate venous occlusion. *International Journal of Kaatsu Training Research*. 2005;1:24-8.
 11. Sung N. Analysis and experiment of repetitive measurement. *Paju, Free Academy*. 1997;113.
 12. Marzilger R, Bohm S, Mersmann F, et al. Modulation of physiological cross-sectional area and fascicle length of vastus lateralis muscle in response to eccentric exercise. *Journal of Biomechanics*. 2002;111.
 13. Okamura K, Fukuda SB, Slattery K, et al. Hypoxia and resistance exercise: A comparison of localized and systemic methods. *Sports Medicine*. 2014;44:1037-54.
 14. Faras TJ, Laporte MD, Sandoval R, et al. The effect of unilateral blood flow restriction on temporal and spatial gait parameters. *Heliyon*. 2019;5(1):01146.
 15. Linero C, Choi SJ. Effect of blood flow restriction during low-intensity resistance training on bone markers and physical functions in postmenopausal women. *Journal of Exercise Science and Fitness*. 2021;19(1):57-65.
 16. Silva J, Neto GR, Freitas E, et al. Chronic effect of strength training with blood flow restriction on muscular strength among women with osteoporosis. *Journal of Exercise Physiology*. 2015;18:4.
 17. Sakamaki M, G Bembem M, Abe T. Legs and trunk muscle hypertrophy following walk training with restricted leg muscle blood flow. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2011;10(2):338-40.
 18. Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki M, et al. Relationship between limb and trunk muscle hypertrophy following high-intensity resistance training and blood flow: Restricted low-intensity resistance training. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2011;31:347-51.
 19. Amano S, Ludin AFM, Clift R, et al. Effectiveness of blood flow restricted exercise compared with standard exercise in patients with recurrent low back pain: Study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2016;17:81.