

Contributory Effect of Additional Blood Flow Restriction in Active Joint Mobilization for Young Adults with Chronic Ankle Instability: A Pilot Randomized Controlled Trial

Hyunjoong Kim^a, Jihye Jung^b, Seungwon Lee^{b, c*}

^aNeuromusculoskeletal Science Laboratory

^bInstitute of SMART Rehabilitation, Sahmyook University

^cDepartment of Physical Therapy, Sahmyook University

Objective: Active joint mobilization (AJM) is an effective strategy for treating chronic ankle instability. Recent studies have shown that incorporating blood-flow restriction (BFR) training into joint exercise programs can enhance physical function. The aim of this study was to compare the effects of BFR during active joint mobilization in individuals with chronic ankle instability.

Design: A pilot randomized controlled trial.

Methods: Thirty participants with chronic ankle instability were randomly assigned to either the BFR plus AJM group (n = 15) or the AJM group (n = 15). The BFR plus AJM group had BFR applied during the AJM, while the AJM group did not. AJM was performed 10 times with voluntary movement, and BFR was performed only during AJM. Static and dynamic balance abilities were assessed using standardized measurements before and after the study. Data were compared using appropriate statistical analysis.

Results: The results showed statistically significant improvements in static and dynamic balance abilities after the AJM intervention program in both the BFR and non-BFR groups ($p < 0.05$). However, the BFR group demonstrated greater improvements in dynamic balance abilities compared to the non-BFR group ($p < 0.05$). Applying BFR during AJM in individuals with CAI was found to be an effective strategy for improving static and dynamic balance abilities.

Conclusions: These findings suggest that BFR may be beneficial for the treatment of CAI. Further research is needed to evaluate the long-term effects and safety of BFR training in this population.

Key Words: Joint instability, Ankle injuries, Postural balance, Blood flow restriction training, Joint mobilization

서론

반복되는 발목 염좌와 지속적인 불편함 및 신체 활동 수준의 감소를 나타내는 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability, CAI)은 젊은 성인들 사이에서 흔히 발견된다[1, 2]. 이러한 불안정성이 반복되는 것은 신체움직임의 조절에 구조적인 기능만이 아닌 조절자의 역할로서 신경근 기능이 저하된 것을 의미한다[3, 4].

CAI의 임상치료지침(clinical practice guidelines)에 따르면[5], 목말뼈를 앞에서 뒤방향으로 활주시키는 관절가동술이 강력한 권고사항으로 제시된다. 관절가동

술의 형태는 다양하지만 능동관절가동술(active joint mobilization, AJM)은 기존에 수행되던 수동관절가동술(passive joint mobilization)에 비해 관절가동범위 및 균형능력에 더욱 효과적이라고 보고된 바 있다[6]. 마찬가지로 CAI에 대한 관절가동술의 체계적 고찰 및 메타분석에서는 하위군 분석(subgroup analysis)의 결과, 통계적으로 유의한 차이는 발견되지 않았지만 관절가동범위 및 동적균형에서 더 높은 효과크기를 보였다[7].

무엇보다 AJM은 수의적인 움직임이 추가된 것으로 피부 및 관절수용기 뿐만이 아닌 근육 및 힘줄들의 고유수용감각 피드백을 증진시키기 위해 고안되었다[8].

Received: Dec 7, 2023 Revised: Dec 21, 2023 Accepted: Dec 22, 2023

Corresponding author: Seungwon Lee (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0413-0510>)

Department of Physical Therapy, Sahmyook University, 815, Hwarang-ro, Seoul, Republic of Korea

Tel: +82-2-3399-1630 Fax: +82-2-3399-1639 E-mail: swlee@syu.ac.kr

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.

Copyright © 2023 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

이는 근육에서의 운동단위 발화시간에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 이러한 이점들에도 불구하고 결과적으로 치료적 운동으로 구성된 연구들에서 장기간의 효과가 더욱 입증되었다[9]. 따라서, 수의적인 움직임을 더욱 강조할 수 있는 AJM이 보다 더 혁신적인 치료로 권장될 수 있다.

혈류제한(blood flow restriction, BFR)훈련은 최근 몇 년 동안 재활 분야에서 많은 관심을 받고 있으며[10, 11], 저항도 운동에 혈류 제한을 추가하여 더 높은 강도의 운동과 유사한 근육 성장 강화 효과를 유도할 수 있다고 하였다[12, 13]. 무릎질환자를 대상으로 한 메타분석에서 BFR을 이용한 근력강화는 근육의 두께 및 강도에 더 유익하다고 제안되어지고 있다[10].

본 연구에서는 CAI의 재발이 신경근 기능의 저하라는 점에 착안하여 강력한 치료 권고사항으로 제시되는 AJM에서 치료적 운동의 장점을 추가시킬 수 있는 BFR을 결합하여 균형능력에 미치는 즉각적인 변화를 통해 결합된 치료의 효과를 파악하고자 한다.

연구방법

연구설계

본 연구는 단일 눈가림(single-blind), 평행설계(parallel design), 무작위임상시험(randomized clinical trial)이다. Figure 1과 같이 2번의 검사(사전 및 사후검사)와 즉각적인 균형능력의 변화를 확인하고자 AJM군과 BFR plus AJM군이 포함되었다. 균형능력은 정적 균형과 동적 균형으로 분류하여 검사되었다.

연구참가자

CAI환자 대상으로 한 선행연구[14]에서 관절가동술 전과 후의 관절가동범위 변화를 통해 대상자 수를 산출하였다. 산출된 Cohen's d는 1.36이었고, G*power 소프트웨어(ver. 3.1, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Germany)를 사용하여 두 그룹, 검정력 0.95, 유의수준 0.05로 설정했을 때 26명의 참가자로 계산되었다. 잠재적인 중도탈락 및 중심 극한 정리에 따라 최종적으로 30명의 참가자가 연구에 등록되도록 하였다.

잠재적 참가자들의 모집은 G대학교 게시판을 통해 젊은 성인(대학교 재학생)들을 모집하였다. 발목 뺨(sprain)을 경험하고 진단받은 병력이 있는 34명이 모집되었다.

선정기준으로는 한쪽 발목만 불안정하다고 느낌, 지난 2년간 최소 2번 이상의 뺨이 있음, 뺨이 없었던 발목과 비교하여 감각이 다름, CAIT(Cumberland ankle instability tool) 25점 이하, 연구기간 동안 다른 치료를 받지 않은 경우 선정되었다[14, 15]. 제외기준으로는 지난 6개월 이내 급성 발목 뺨을 호소한 경우, 양측 발목 모두 병력이 있는 경우, 정형외과적 수술 병력이 있는 경우는 제외되었다[14].

연구에 앞서 등록된 참가자들에게는 헬싱키 선언의 윤리적 기준에 따른 목적과 절차에 대해 설명하였고 사전 동의서에 자발적으로 서명한 사람만 등록되었다.

무작위화 및 눈가림

등록된 참가자들은 무작위 배정 소프트웨어(ver. 1.0, Isfahan University, Iran)를 통해 각각 1:1비율로 AJM군과 BFR plus AJM군에 배정되었다. 눈가림은 단일 눈

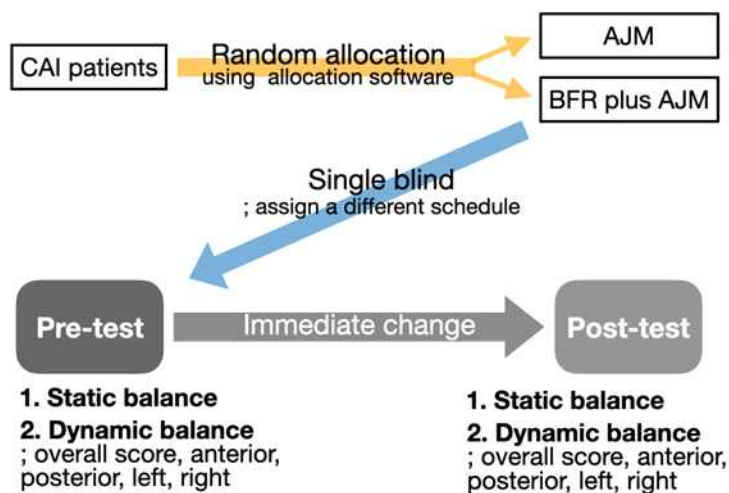


Figure 1. Schematic diagram of the research flow.

가림으로 참가자들의 치료일정을 달리하여 각 군에서는 무슨 중재에 배정 받았는지 모르게 진행되었다.

중재

중재는 AJM군과 BFR plus AJM군으로 구분되었으며, 각각의 중재절차 및 방법은 다음과 같다.

AJM군 참가자들은 바로누운자세에서 무릎을 굽히고 있으며, 치료사는 CAI가 있는 발목의 옆에 위치하였다. 치료사는 한 손으로 목말뼈 위에 엄지손가락을 위치시켰고 다른 한 손으로 가쪽 복사뼈를 잡았다. 동시에 치료사의 복사뼈 위치에 참가자의 발바닥을 완전하게 밀착시켰다. 밀착된 발목의 발등 굽힘과 발바닥 굽힘이 잘 일어나는지 확인하기 위해 치료사는 체중의 전방, 후방 이동을 통해 확인할 수 있다. 치료사의 전방 체중이동은 참가자의 발등 굽힘과 동시에 목말뼈와 가쪽 복사뼈는 앞에서 뒤쪽으로 미끄러지게 했다. 이후 발등 및 발바닥 굽힘이 원활하게 이동되는 것이 확인되면 수의적인 엉덩관절 굽힘이 일어나도록 지시하였다[16-18]. AJM은 수의적인 움직임이 숙달된 후 일정한 속도로 10회 반복을 수행하였다.

BFR을 수행할 때 이용되는커프(BFR Therapy Co, USA)는 아래다리 주변에 근육들의 강도를 향상시키기 위해 무릎뼈 아래에 착용 시켰다. 중재에 들어가기 전 약 5분간 BFR에 적응할 수 있도록 착용 시켰으며, 착용 부위에 통증이 나타나지 않을 정도의 압력을 넣어 혈류가 제한되는지 확인하였다[19]. 이후 BFR plus AJM 군에 배정된 참가자들에 한하여 AJM과 동시에 적용하여 진행되었다.

측정도구

균형능력은 Biodex Balance System(Biodex Medical Systems Inc., USA)을 이용하여 정적 균형과 동적 균형을 평가하였다. 균형 측정 장비는 전,후방과 좌,우측의 움직임을 감지하는 센서를 갖춘 고정형 원형 발판과 대상을 육안으로 확인하고 일치시킬 수 있는 모니터, 데이터 전송 및 분석을 위한 컴퓨터, 분석 데이터 출력을 위한 컴퓨터로 구성되었다. 참가자는 측정 장비의 원형 발판 위에 바로 선 자세로 위치하였다. 정적 균형을 측정 시 양팔은 가슴에 모아 무게중심을 유지하도록 하여 움직임이 없도록 하였다[20]. 동적 균형을 측정은 원형 발판이 고정되지 않았으며 발판의 불안정성은 단계가 조절 가능하였고 참가자들의 각 균형능력의 수준에 맞추어 진행되었다. 정적 균형과 동일하게 발 위치는 변경하지 않았으나 목표점을 설정하고 신체 중심을 움직여 해

당 지점에 도달하도록 작업 시간과 경로가 기록되었다. 측정은 10초 간격으로 20초 동안 두 번 기록되었고 평균값으로 산출하였다. 균형능력 측정장비의 검사자 내 신뢰도는 0.42~0.80로 보고되었다[21].

자료분석

모든 통계적 분석은 SPSS(ver. 25.0, IBM Corp., USA)를 통해 분석되었다. 동질성 검정은 연속형 변수에서 독립 t 검정, 범주형 변수에서 카이제곱 검정을 이용하였다. 균형능력의 군간 비교는 독립 t 검정을 통해 분석되었으며, 각 군에서의 전과 후 차이는 대응 t 검정으로 분석되었다. 또한, 평가된 변수들에서 중재의 효과 크기는 Cohen's d를 통해 나타내었다[22]. 모든 통계적 유의한 수준(α)는 0.05로 설정되었다.

연구결과

연구 참가자들의 일반적인 특성

본 연구는 2023년 04월에 수행되었으며, 모집문건에 따라 34명의 잠재적 참가자들 중 적격기준에 따라 30명이 최종적으로 등록되어 실험에 참가하였다. 등록된 참가자들은 즉각적인 중재의 효과가 확인되었기에 중도탈락 없이 30명 모두 실험을 완료하였다. 참가자들의 일반적 특성과 사전 균형능력에서 유의한 차이는 발견되지 않았다($p > 0.05$).

균형능력 비교

정적균형에서 두 군은 모두 전과 후 유의한 개선을 보였다($p < 0.001$). 전과 후 변화에 대해 AJM군($d = 0.56$)이 BFR plus AJM군($d = 0.41$)보다 높은 효과 크기



Figure 2. Effect size radar chart for dynamic balance.

Table 1. General characteristics of participants.

	AJM (n=15)	BFR plus AJM (n=15)	χ^2/t
Sex(male/female)	10 / 5	10 / 5	
Age(years)	21.27±1.87	21.53±2.47	8.343
Height(cm)	174.83±8.62	170.03±5.59	1.809
Weight(kg)	75.80±13.64	70.07±11.18	1.259
BMI(kg/m ²)	24.63±2.73	24.19±3.21	0.404
CAIT(point)	18.87±4.00	18.07±4.43	11.667
Static balance(score)	1.67±0.72	1.45±0.73	17.333
Dynamic balance(score)			
Overall score	20.93±7.16	22.73±9.01	-0.606
Anterior	22.27±8.07	24.73±10.55	-0.719
Posterior	19.67±8.42	29.67±18.91	-1.871
Left	29.60±13.20	28.40±15.03	0.232
Right	28.07±11.72	33.93±17.93	-1.061

AJM: active joint mobilization, BFR: blood flow restriction, BM: body mass index, CAIT: Cumberland ankle instability tool.

Table 2. Comparison between groups.

		AJM (n=15)	BFR plus AJM (n=15)	Between-group differences [†]
Stative balance	Pre	1.67±0.72	1.45±0.73	
	Post	1.33±0.49	1.17±0.61	0.15(-0.19,0.50) [†]
	Post-Pre [‡]	0.56(0.13,0.57) ^{***}	0.41(0.14,0.41) ^{***}	0.20(-0.34,0.20)
Dynamic balance-OS	Pre	25.93±7.54	22.73±9.01	
	Post	25.93±7.54	32.47±8.37	-6.53(-13.52,0.45) ^{†*}
	Post-Pre [‡]	0.68(-7.29,-2.71) ^{**}	1.12(-11.21,-8.26) ^{***}	1.25(-7.58,-1.89) ^{**}
Dynamic balance-Anterior	Pre	22.27±8.07	24.73±10.55	
	Post	24.67±8.99	38.73±13.20	-14.07(-22.49,-5.64) ^{†**}
	Post-Pre [‡]	0.28(-6.91,2.11)	1.17(-18.00,-10.00) ^{***}	1.38(-17.90,-5.30) ^{**}
Dynamic balance-Posterior	Pre	19.67±8.42	29.67±18.91	
	Post	24.53±10.43	35.93±19.28	-11.40(-24.69,1.89) [†]
	Post-Pre [‡]	0.51(-11.55, 1.81)	0.33(-13.13, 0.60)	0.01(-11.41,8.61)
Dynamic balance-Left	Pre	29.60±13.20	28.40±15.03	
	Post	36.00±16.31	38.33±13.23	-2.33(-13.60,8.93) [†]
	Post-Pre [‡]	0.43(-12.02,-0.78) [*]	0.70(-15.46,-4.41) ^{**}	0.32(-11.77,4.71)
Dynamic balance-Right	Pre	28.07±11.72	33.93±17.93	
	Post	34.73±14.13	40.80±14.25	-6.07(-15.66,3.52) [†]
	Post-Pre [‡]	0.51(-12.26,-1.08) [*]	0.42(-16.75,3.02)	0.11(-12.07,11.67)

The post-pre values were described as absolute values.

[†]Mean change(95% confidence interval), [‡]Cohen's d(95% confidence interval), * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, AJM: active joint mobilization, BFR: blood flow restriction, OS: overall score.

를 나타냈으나 두 군간 유의한 차이는 발견되지 않았다 ($p > 0.05$) (Figure 2, Table 2).

동적균형의 하위 항목에서 두 군간 유의한 차이가 나타난 항목은 전체 점수와 전방이며 ($p < 0.01$), BFR plus AJM군이 AJM군보다 동적균형의 향상에서 큰 효과 크기를 보였다 (Overall score; $d = 1.25$, Anterior; $d = 1.38$). AJM군에서 전과 후 유의한 개선은 전체 점수, 좌측, 우측에서 확인되었으며, BFR plus AJM군에서는 후방과 우측을 제외한 모든 하위항목에서 유의한 개선이 확인되었다 (Figure 2 & Table 2).

논의

본 연구는 CAI가 있는 젊은 성인에게 적용한 AJM에 BFR이라는 추가적인 중재를 도입함으로써 균형능력에 미치는 즉각적인 효과를 평가하였다. 연구결과는 BFR plus AJM이 동적균형 능력향상에 기존의 AJM 중재보다 더 큰 효과를 가지고 있음을 시사하며 (Overall score; $d = 1.25$, Anterior; $d = 1.38$), 이는 발목의 안정성 및 균형능력에 있어 BFR의 잠재적인 역할을 강조한다.

특히, 동적균형 능력의 개선은 CAI의 재활과정에서 중요한 지표로 여겨진다. 따라서, 자가-기립식 설문을 통한 기능과 정적 균형평가는 CAI의 회복의 지표로 적절하지 않는 것으로 입증되었다 [7, 23]. 또한, CAI를 나타내는 중요한 척도가 되는 계단을 내려갈 때 안쪽 변립과 발바닥 굽힘이 되려는 특징 [24, 25]이 있기에 앞발에서의 체중부하와 연관된 동적 균형의 하위항목인 전방 항목에서 가장 큰 효과크기를 나타낸 것이 의미 있는 변화라고 할 수 있다.

서론에서 언급하였듯이 신경근 기능이 저하된 CAI의 특성상 발목 주위 근육들의 발화시간의 지연으로 인해 재발되는 특징이 있다. 따라서, AJM은 수의적인 움직임의 동반에 따른 근육의 동원을 더 유도하기에 기존의 전통적인 방식인 수동관절가동술에 비해 효과적이라 할 수 있다 [8, 9]. 추가적으로 BFR을 결합한 것은 근육들의 동원을 더욱 유도 [26]할 수 있고 말초신경의 반사경로 안정화에 기여할 수 있다 [10, 27].

전방 하위항목을 제외한 후방, 좌측, 우측 항목에서는 AJM군과 BFR plus AJM군을 비교한 결과 유의한 차이가 나타나지 않았다 ($p > 0.05$). 오히려, 효과크기를 통한 비교에서는 좌측 항목을 제외한 후방, 우측 항목이 AJM군에서 상대적으로 큰 효과크기를 보였다. 한편, 수동관절가동술과 AJM을 비교한 선행연구 [6]에서는 AJM군에서 후방, 우측 항목이 수동관절가동술 보다 유의한 개선을 보였다 ($p < 0.05$). 이러한 결과는 BFR plus AJM

이 전방 항목에서 가장 큰 효과를 보인 것을 제외하면 오히려 수동관절가동술과 유사한 효과를 보였다. 하지만, 즉각적인 변화만을 확인하였기에 BFR의 효과검증에는 제한적일 수 있다. 또한, 평가도구가 동적 균형에 한정되므로 다른 변수들의 해석에는 추후 추적관찰이 포함된 연구들이 필요하다.

본 연구에서는 즉각적인 효과를 통한 변화이지만 중재의 기간을 운동단위동원의 지속성을 통한 신경학적 적응의 변화를 만들기에는 6주가량의 중재프로그램이 권장된다 [28, 29]. 실제로 CAI를 가진 환자들의 피질 흥분성은 특징적으로 운동의 계획 및 전략의 주된 영역인 보조운동영역 (supplementary motor area)의 활성도저하가 나타난다 [30]. 임상치료지침 [5]에서 CAI에 관절가동술이 권장되지만 만성상태로 인해 변화된 뇌의 신호 오류는 고려되지 않았다. 수의적인 움직임이 동반된 AJM은 수의적인 움직임이 운동단위 동원을 통한 고유 수용성 감각활성화에 따른 신경근 기능향상을 이끌어 낸다. 따라서 수의적인 움직임이 동반된 AJM과 BFR의 결합은 의미있는 치료로 제안할 수 있다.

본 연구에서는 CAI재활에서 BFR plus AJM을 통해 BFR을 이용한 새로운 접근법으로 활용 가능성을 확인하였으며, 물리치료사들의 CAI관리에서 추가적인 치료 옵션을 제공한 것에 의의가 있다. 하지만, 이러한 결과에도 불구하고 본 연구에서는 다음과 같이 제한점과 추후 연구에 대한 제언이 있다. 첫째, 즉각적인 효과이므로 장기적인 변화가 재활에서는 필수적인 요소이기에 최소 4~6주 이상의 연구를 통해 실제 신경학적 적응으로 인해 장기변화를 초래할 수 있는지 확인되어야 한다. 둘째, BFR은 환자의 개별적인 상태와 필요에 따라 중재를 조정할 수 있는 충분한 지침과 지식이 있어야 하기에 이를 위해 강도, 시간, 빈도와 같은 프로토콜에 대한 연구들도 더욱 요구된다. 셋째, 본 연구의 치료강도를 포함하여 BFR을 결합시킨 관절가동술은 학계에서 최초로 소개된 중재이기에 추가적인 기전의 해석이 필요하다.

결론

본 연구는 만성 발목 불안정성이 있는 젊은 성인들의 재활에서 혈류제한을 결합시킨 능동관절가동술의 중재가 불안정성의 해소에 보다 더 근본적인 문제에 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다. 추후 임상 의사결정에서 물리치료사에게 추가적인 치료 옵션을 제공하며, 환자 맞춤형 치료 계획 수립에 기여할 수 있을 것이다.

이해 충돌

본 연구의 저자들은 연구, 저작권 및 출판과 관련하여 잠재적인 이해충돌이 없음을 선언합니다.

References

1. Al-Mohrej OA, Al-Kenani NS. Chronic ankle instability: Current perspectives. *Avicenna J Med*. 2016;6:103-8.
2. Hertel J. Functional Anatomy, Pathomechanics, and Pathophysiology of Lateral Ankle Instability. *J Athl Train*. 2002;37:364-75.
3. Zech A, Hübscher M, Vogt L, Banzer W, Hänsel F, Pfeifer K. Neuromuscular training for rehabilitation of sports injuries: a systematic review. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:1831-41.
4. Konradsen L, Magnusson P. Increased inversion angle replication error in functional ankle instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2000;8:246-51.
5. Martin RL, Davenport TE, Fraser JJ, Sawdon-Bea J, Carcia CR, Carroll LA, et al. Ankle Stability and Movement Coordination Impairments: Lateral Ankle Ligament Sprains Revision 2021. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2021;51:Cpg1-cpg80.
6. Kim H, Song S, Lee S, Lee S. Short-term effects of joint mobilization with versus without voluntary movement in patients with chronic ankle instability: A single-blind randomized controlled trial. *Physical Therapy Rehabilitation Science*. 2021;10:1-9.
7. Kim H, Moon S. Effect of Joint Mobilization in Individuals with Chronic Ankle Instability: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2022;7.
8. Kazemi K, Arab AM, Abdollahi I, López-López D, Calvo-Lobo C. Electromiography comparison of distal and proximal lower limb muscle activity patterns during external perturbation in subjects with and without functional ankle instability. *Hum Mov Sci*. 2017;55:211-20.
9. Doherty C, Bleakley C, Delahunt E, Holden S. Treatment and prevention of acute and recurrent ankle sprain: an overview of systematic reviews with meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2017;51:113-25.
10. Van Cant J, Dawe-Coz A, Aoun E, Esculier JF. Quadriceps strengthening with blood flow restriction for the rehabilitation of patients with knee conditions: A systematic review with meta-analysis. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2020;33:529-44.
11. Caetano D, Oliveira C, Correia C, Barbosa P, Montes A, Carvalho P. Rehabilitation outcomes and parameters of blood flow restriction training in ACL injury: A scoping review. *Phys Ther Sport*. 2021;49:129-37.
12. Hill EC, Housh TJ, Keller JL, Smith CM, Anders JV, Schmidt RJ, et al. Low-load blood flow restriction elicits greater concentric strength than non-blood flow restriction resistance training but similar isometric strength and muscle size. *Eur J Appl Physiol*. 2020;120:425-41.
13. Loenneke JP, Pujol TJ. The use of occlusion training to produce muscle hypertrophy. *Strength & Conditioning Journal*. 2009;31:77-84.
14. Cruz-Díaz D, Lomas Vega R, Osuna-Pérez MC, Hita-Contreras F, Martínez-Amat A. Effects of joint mobilization on chronic ankle instability: a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil*. 2015;37:601-10.
15. Wright CJ, Arnold BL, Ross SE, Linens SW. Recalibration and validation of the Cumberland Ankle Instability Tool cutoff score for individuals with chronic ankle instability. *Arch Phys Med Rehabil*. 2014;95:1853-9.
16. Vicenzino B, Branjerdporn M, Teys P, Jordan K. Initial changes in posterior talar glide and dorsiflexion of the ankle after mobilization with movement in individuals with recurrent ankle sprain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006;36:464-71.
17. Hoch MC, McKeon PO. The effectiveness of mobilization with movement at improving dorsiflexion after ankle sprain. *J Sport Rehabil*. 2010;19:226-32.
18. Kim Y, Lee G. Immediate Effects of Angular Joint Mobilization (a New Concept of Joint Mobilization) on Pain, Range of Motion, and Disability in a Patient with Shoulder Adhesive Capsulitis: A Case Report. *Am J Case Rep*. 2017;18:148-56.
19. Kim K, Huh Y, Shin S. Acute Effects of the Blood Flow Restriction on the Peak Torque and Work Per Repetition during knee Isokinetic Exercise. *Korean Journal of Sports Science*. 2016;25:1259-65.
20. Kim KJ, Heo M. Effects of virtual reality programs on balance in functional ankle instability. *J Phys*

- Ther Sci. 2015;27:3097-101.
21. Perron M, Hébert LJ, McFadyen BJ, Belzile S, Regnière M. The ability of the Biodex Stability System to distinguish level of function in subjects with a second-degree ankle sprain. *Clin Rehabil.* 2007;21:73-81.
 22. Arnoldo T, Víctor C-V. Effect size, confidence intervals and statistical power in psychological research. *Psychology in Russia: State of the art.* 2015;8:27-46.
 23. McKeon PO, Hertel J. Systematic review of postural control and lateral ankle instability, part I: can deficits be detected with instrumented testing. *J Athl Train.* 2008;43:293-304.
 24. Cao S, Wang C, Ma X, Jiang S, Yu Y, Wang X, et al. Stair descent biomechanics reflect perceived instability in people with unilateral ankle sprain history. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2020;72:52-7.
 25. Gerstle EE, O'Connor K, Keenan KG, Cobb SC. Foot and Ankle Kinematics During Descent From Varying Step Heights. *J Appl Biomech.* 2017;33:453-9.
 26. Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med.* 2015;45:187-200.
 27. Ebig M, Lephart SM, Burdett RG, Miller MC, Pincivero DM. The effect of sudden inversion stress on EMG activity of the peroneal and tibialis anterior muscles in the chronically unstable ankle. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1997;26:73-7.
 28. Herda TJ. Resistance exercise training and the motor unit. *Eur J Appl Physiol.* 2022;122:2019-35.
 29. Škarabot J, Brownstein CG, Casolo A, Del Vecchio A, Ansdell P. The knowns and unknowns of neural adaptations to resistance training. *Eur J Appl Physiol.* 2021;121:675-85.
 30. Rosen AB, Yentes JM, McGrath ML, Maerlender AC, Myers SA, Mukherjee M. Alterations in Cortical Activation Among Individuals With Chronic Ankle Instability During Single-Limb Postural Control. *J Athl Train.* 2019;54:718-26.