

대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2022. 06. Vol. 29, No.2, pp. 48-56

혈류제한이 뇌성마비 아동의 큰볼기근 두께와 밀도 및 백색영역지수에 미치는 영향

박재철 · 이동규

전남과학대학교 물리치료과

Effects of blood flow restriction on gluteus muscles thickness, density, and WAI for children with cerebral palsy

Jae Cheol Park, Ph.D., P.T. · Dong Kyu Lee, Ph.D., P.T.

Department of Physical Therapy, Chunnam Techno University

Abstract

Background: This study was to identify the effects of blood flow restriction on gluteus muscles thickness, density, and white area index for children with cerebral palsy.

Design: Randomized controlled trial.

Methods: Twenty children with cerebral palsy were assigned randomly to an experimental ($n=10$) or control ($n=10$) group. The experimental group performed a bicycle exercise after blood flow restriction. The control group performed a bicycle exercise. The study used an ultrasonic instrument to measure gluteus muscles thickness, density, and WAI. Wilcoxon signed ranks test was used for determination of differences before and after treatment, and a Mann-Whitney U test was used for determination of differences between treatment groups.

Results: As a result of comparison within groups, the experimental and control group showed significant difference for gluteus muscles thickness, density, and WAI after the experiment ($p<0.05$). In comparison between two groups, the experimental group showed more significant difference in gluteus muscles thick-

ness, density, and WAI than the control group ($p<0.05$).

Conclusion: Based on these results, a bicycle exercise after blood flow restriction effectively improved the gluteus muscles thickness, density, and WAI of children with cerebral palsy.

Key words: Blood flow restriction, Cerebral palsy, Density, Thickness, White area index.

교신저자

이동규 교수
전남 곡성군 옥과면 대학로 113 전남과학대학교
T: 061-360-5304, E: ehck@cntu.ac.kr

I. 서론

뇌성마비(cerebral palsy)는 태아 또는 영아의 뇌 병변이나 뇌의 비진행성 손상으로 발생하는 신경계 장애로 정의되며 운동 발달과 자세조절, 감각 장애, 인지 장애 행동 장애 및 이차적 근·뼈대계 문제를 유발한다(Apolo-Arenas 등, 2021; Rosenbaum 등, 2006; 김효원과 안소윤, 2015). 뇌성마비는 저 긴장형과 경직성, 운동 실조형, 불수의형 및 혼합형으로 분류되며 그 중에서 경직성 뇌성마비가 대부분을 차지한다(Pakula 등, 2009). 뇌성마비는 특정 근육의 약화와 경직 및 피로와 관련되는 운동 손상이 특징으로 나타나며(Gage, 1993; Houlihan, 2009), 선택적 움직임과 근육 간에 협응 능력의 장애(Cahill-Rowley 과 Rose, 2014)와 몸통의 안정성 부족(Janssen 등, 2002) 및 엉덩관절 펴 근의 발달 장애로 펴 근의 약화가 발생한다(양경옥 등, 2009). 펴 근의 약화는 뇌성마비 아동의 앉고 일어서는 동작 수행에 있어 어려움이 발생하고 삶의 질이 감소하여 임상에서는 일어서기 동작의 기능 향상을 증가시켜 독립적으로 생활을 할 수 있도록 많은 시간을 투자하고 있다(Garvey 등, 2007; 이연섭과 남택길, 2012). 뇌성마비 아동에게 증재되는 방법으로 게임을 통한 훈련과 에어로빅 트레이닝, 해마 테라피, 음악 요법, 보행 훈련 및 수중 운동이 이용되고 있다(Apolo-Arenas 등, 2021). 하지만 많은 뇌성마비 아동들이 일어서기 동작에 어려움을 호소하고 있으며 부작용이 없으며 훈련 효과가 큰 다른 대안의 제시가 필요하다.

최근 적은 저항을 이용하여 훈련을 하더라도 고강도에서 실시하는 훈련과 같은 효과를 보이는 혈류제한운동(blood flow restriction exercise)이 제시되고 있다. 혈류제한운동은 혈류를 일시적으로 제한하여 호르몬 변화나 근육과 관절 주변 조직의 혈액 순환 동태를 변화시키며(Takano 등, 2005) IRM의 20%의 적은 강도로도 근육의 비대와 근력을 증가시킨다(Abe 등, 2006). 이러한 훈련 방식은 근육 간의 협응 능력 저하로 근육 강화에 어려움이 있는 뇌성마비 아동에게 적용 가능하고 다양한 증재와 함께 적용이 가능하여 훈련의 효과를 극대화할 수 있는 방법이다.

관련 연구로 혈류제한운동이 폐경기 여성의 골 지표와 신체기능 증가(Linero 과 Choi, 2021)와 관련된 연구가 있었고, 성인의 혈관 기능 증가(Pereira-Neto 등, 2021), 퇴행성 무릎 관절염 환자의 근육 강화와 통증 감소(Pitsillides 등, 2021), 혈류 제한과 전기자극의 복합 적용은 다리의 근육량 손실을 감소(Slysz 등, 2021), 심혈관 수술 환자의 골격근 강도와 크기 증가(Ogawa 등, 2021) 등의 다양한 질환과 기능 향상에 관련된 연구들이 진행되고 있다.

하지만 대부분의 선행연구들은 성인 여성과 노인 및 내.외과적 질환이 있는 자들로 한정되어 실시되고 있으며 신경계 질환인 뇌성마비 아동을 대상으로 초음파를 이용하여 영상 구조적 특성 변화인 근육의 두께와 밀도 및 백색영역지수와 관련한 연구는 아직까지 부족한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 일어서기에 필요한 큰볼기근(gluteus maximus)의 구조적 변화인 두께와 밀도 및 백색영역지수에 혈류제한운동이 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구를 진행하려고 한다. 따라서 본 연구는 혈류제한을 이용한 증재가 큰볼기근의 구조적 변화를 초음파로 분석하고 연구함으로써 임상에서 뇌성마비 아동의 증재와 기초 자료로서 활용하는데 목적이 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 광주광역시 소재 기관에 내원한 뇌성마비 아동을 대상으로 진행하였다. 뇌성마비 진단을 받고 대동

작 기능 분류 시스템(gross motor function classification system) Level I-II에 해당하는 7세 이상 10세 미만 아동으로 보조도구 없이 독립적으로 서 있는 자세 유지 및 보행이 가능한 아동을 대상으로 검사자가 구두 지시에 대하여 충분히 이해하고 따라 할 수 있을 정도의 의사소통과 인지수준 능력을 가진 경직형 뇌성마비 아동 20명을 대상으로 하였다. 제외 대상 아동으로는 최근 2년간 수술경력과 6개월 이내에 보톡스 시술을 받았거나, 발작과 간질이 있는 자 및 투여하는 약물 처방이 있는 대상은 제외하였다. 본 연구는 사전에 연구의 목적과 내용 및 진행 과정을 아동과 보호자에게 충분히 설명하였다. 또한 연구를 시작하기 전에 아동과 대리인으로부터 동의서를 받았고 헬싱키 선언에 근거한 윤리적 원칙을 기초로 하여 합법적인 절차에 따라 실시하였다.

2. 연구 방법

본 연구 대상자는 20명을 대상으로 혈류제한 후 자전거 타기 운동을 적용한 실험군 10명과 자전거 타기 운동만 적용한 대조군 10명으로 나누었으며 제비뽑기를 이용하여 두 집단으로 무작위 배정하였다. 실험군은 혈류제한을 위해 소아 혈류제한 커프를 이용하여 뇌성마비 아동의 엉덩관절(hip joint)와 무릎관절(knee joint)사이를 100 mmHg 압력을 이용하여 혈류제한을 하였다. 운동적용 기간 및 횟수는 Park 과 Kim(2016)의 선행연구를 토대로 본 실험에 맞게 수정하여 실험군과 대조군은 5주간 주 5회 30분간 실시하였고 총 6세트로 나누어 3분 훈련, 2분 휴식 시간이 주어졌다. 운동하는 동안 물리치료사가 아동을 격려하였고 피로감과 호흡 장애 및 통증이 발생하는지 관찰하였고 이상 징후 발생 시 운동을 중지하였다.

3. 측정 방법 및 도구

큰볼기근 두께와 밀도 및 백색영역지수를 측정하기 위하여 초음파 영상장치를(Achievo CST, V2u Health Care, Singapore)를 이용하였다. 이 영상장치의 주파수변조 범위는 6.5~8.5MHz이며, gain의 20~80이다. 3.5MHz 선형탐촉자(linear transducer) 변환기를 이용하여 큰볼기근 두께와 밀도 및 백색영역지수를 측정하기 위해 넙다리뼈(femur)의 큰돌기(greater trochanter)와 엉치뼈(sacrum)을 이은 정 가운데를 초음파에 내장되어 있는 캘리퍼를 이용하여 두께 측정을 하였고(이완희, 2018) 그 후 이미지를 저장하여 디지털영상 프로그램(Image-Pro Plus 4.1, Media Cybernetics, USA)으로 옮긴 후 분석하고자 하는 부분을 정사각형 모양으로 영역을 선택하여 화소값(pixel value)을 구하였다. 백색영역지수는 선택된 정사각형 모양 영역에서 흰색으로 보이는 영역(화소값 170)의 화소수를 전체 화소수로 나눈 값을 이용하였다(Maurits 등, 2003). 검사자 간의 차이를 줄이기 위해 엉덩관절의 해부학적 지식이 높고 초음파 관련 업무를 5년 이상 한 물리치료사 1인을 측정자로 하여 측정 시기별 측정부위의 정확성을 높이기 위해 수술용 펜으로 표시를 한 후 시행하였다. 추출한 큰볼기근의 근육마스크의 평균 화소수는 6547화소(pixel value)였다.

4. 자료 분석

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS 21.0(SPSS Inc., Chicago, USA)을 이용하여 통계처리 하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 기술통계를 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 샤피로-윌크 검정 방법으로 정규성 검정을 하였으며 모든 변수가 정규 분포하지 않아 비모수 검정을 실시하였다. 윌콕슨 부호 검정(Wilcoxon signed ranks test)을 이용하여 집단 내 전, 후 비교를 하였고 맨휘트니 U 검정(Mann-whitney U test)을 이용하여 집단 간 실험 전, 후 차이값을 비교하였다. 통계적 유의수준 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구 대상자는 총 20명으로 실험군은 남자 4명, 여자 6명으로 총 10명이었고, 평균 연령은 7.60±1.50세, 평균 신장은 94.40±8.92cm, 평균 체중은 13.40±2.22kg이었다. 대조군은 남자 5명, 여자 5명으로 총 10명이었고, 평균 연령은 8.10±1.37세, 평균 신장은 93.70±6.32cm, 평균 체중은 12.60±1.77kg이었다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 각 집단 간 유의한 차이가 없었다($p>0.05$)<Table 1>.

Table 1. General characteristics of subjects (N=20)

	EG (n=10)	CG (n=10)	p
Gender (M/F)	4/6	5/5	
Age (years)	7.60±1.50 ^a	8.10±1.37	0.455
Height (cm)	94.40±8.92	93.70±6.32	0.846
Weight (kg)	13.40±2.22	12.60±1.77	0.394

^aMean±SD, EG=experimental group; CG=control group.

2. 큰볼기근 두께

큰볼기근 두께 변화는 실험 전, 후에 실험군과 대조군에서 유의한 차이를 보였으며($p<0.05$), 군 간 큰볼기근 두께 차이는 대조군 보다 실험군에서 유의한 차이를 보였다($p<0.05$)<Table 2>.

3. 큰볼기근 밀도

큰볼기근 밀도 변화는 실험 전, 후에 실험군과 대조군에서 유의한 차이를 보였으며($p<0.05$), 군 간 큰볼기근 밀도 차이는 대조군 보다 실험군에서 유의한 차이를 보였다($p<0.05$)<Table 2>.

4. 큰볼기근 백색영역지수

큰볼기근 백색영역지수 변화는 실험 전, 후에 실험군과 대조군에서 유의한 차이를 보였으며($p<0.05$), 군 간 큰볼기근 백색영역지수 차이는 대조군 보다 실험군에서 유의한 차이를 보였다($p<0.05$)<Table 2>.

IV. 고찰

본 연구는 7세에서 10세 사이의 경직성 뇌성마비 아동에게 혈류제한을 이용한 자전거 타기 운동이 큰볼기근 두께와 밀도 및 백색영역지수에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 혈류제한을 이용한 자전거 타기 운동을 실시한 실험군과 자전거 타기 운동만을 실시한 대조군으로 분류하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 군 내 변화에서 큰볼기근 두께와 밀도 및 백색영역지수는 5주 후에 유의한 차이가 있었고, 군 간 변화에서 큰볼기근 두께와 밀도 및 백색영역지수는 대조군 보다 실험군에서 유의한 차이를 보였다.

Table 2. A comparison of between pro-post ($N=20$)

		EG	CG	z	P^3
GMT (mm)	Pre	1.08±0.44 ^a	1.02±0.36		
	Post	1.32±0.35	1.15±0.36		
	Difference ¹⁾	0.27±0.15	0.12±0.10	-2.013	0.05*
	z	-2.812	-2.679		
	$p^2)$	0.01*	0.01*		
GMD (pixels)	Pre	69.20±1.54	68.10±2.72		
	Post	63.20±2.57	65.10±3.28		
	difference ¹⁾	-6.00±3.12	-3.00±3.19	-2.063	0.04*
	z	-2.673	-2.501		
	$p^2)$	0.01*	0.01*		
GMWAI (%)	Pre	0.85±1.17	0.75±0.08		
	Post	0.55±0.18	0.64±.10		
	difference ¹⁾	-0.30±0.24	-0.11±0.13	-1.637	0.05*
	z	-2.383	-2.269		
	$p^2)$	0.02*	0.02*		

^aMean±SD, * $p<0.05$, ¹⁾Difference: post-pre, ²⁾Paired t-test, ³⁾Independent t-test, GMT=gluteus maximus thickness; GMD=gluteus maximus density; GMWAI:=gluteus maximus white area indexence; EG=experimental group; CG=control group.

이러한 결과는 몇 가지 이유로 해석된다. 첫째, 저산소 환경에서 운동은 근육의 두께를 증가시키며 훈련을 통한 근육 섬유 두께 증가는 밀도와 백색영역지수에 영향을 미친다는 것이다. Centner 등(2019)의 메타분석 결과 혈류제한운동은 노인들의 근력과 근육량을 증가시켜 효과적인 중재적 접근 방식이라고 언급하였고, 전방십자인대 재건술과 전치환술과 같은 정형외과 수술 후 재활단계에서 근육량과 근력 회복을 위해 사용되어왔다(Patterson 등, 2019). 저산소 환경에서 운동은 근섬유 피로도에 영향을 미쳐 신체 여러 근육의 운동단위의 점진적인 동원을 유도한다(Takarada 등, 2000). 본 연구에서 혈류제한을 이용한 자전거 타기 운동이 피로도가 쉽게 발생하는 뇌성 마비 아동들의 큰볼기근을 더욱 피로하게 만들어 더 큰 운동단위 동원을 유도하여 큰볼기근 두께와 밀도, 백색영역지수 변화에서 이러한 결과를 보인 것으로 생각된다. 밀도와 백색영역지수의 감소는 큰볼기근의 훈련 효과로 해석된다. 초음파 영상은 음향생성도(echogenicity)를 나타내는데 건강한 근육은 어둡게 보이고 건강하지 못한 근육은 백색분포가 증가하여 산만하게 보인다(Nielsen 등, 2006). 밀도는 근섬유가 아닌 지방 또는 결합조직에서 높은 반사를 보여 연령이 증가하면 반사강도도 증가하며 반대로 건강한 근육 일수록 밀도는 낮아지며 백색영역지수도 근육과 지방이 결합조직으로 전환되면 반사율이 높아져 증가된다(정진규 등, 2006). 즉 훈련이 잘되거나 손상이 없는 근육일수록 밀도와 백색영역지수는 적게 나타난다(윤세원 등, 2006). 정진규 등(2006)은 밀도와 백색영역지수는 밀접한 상관관계가 있어 밀도가 증가하면 백색영역지수도 증가하는 상관성이 있다고 하였고, 한종만 등(2015)은 동적안정화 운동을 적용한 결과 배가로근과 못갈래근 두께 증가와 함께 밀도와 백색영역지수가 감소된다고 보고 하여 본 연구결과와 일치함을 알 수 있다.

둘째 본 연구에서 사용된 혈류 제한 커프의 낮은 압력도 근비대 전이를 유발하여 큰볼기근의 구조적 변화에

영향을 미친다. 혈류 제한에 필요한 압력은 커프 너비 및 커프 재료에 따라 설정할 수 있고 압력으로 50mm Hg(Kubota 등, 2011)에서 최대 300mmHg(Cook 등, 2007)로 알려져 있다. Patterson 등(2019)은 혈류제한 압력을 혈류가 100% 중단되는 지점 보다 40~80% 압력 사용을 권고하였다. 압력이 증가 할수록 심혈관계 반응이 증가할 수 있고 운동과 관련된 부정적인 영향을 유발할 수 있어(Jessee 등, 2017) 주의가 필요한 운동으로 알려져 있다. Slysz 등(2016)의 메타분석에서 150mmHg 이상의 압력이 근두께 증가에 효과적이라고 하였다. 하지만 본 연구에서 100 mmHg의 압력에서도 효과를 보였는데 쉽게 피로도가 증가되는 질한 특성상 부작용을 고려하여 설정한 낮은 압력에서도 뇌성마비 아동의 근육의 구조적 변화를 유도 할 수 있었다. 이점은 훈련 하지 않은 근육에서도 근비대의 발생(Takarada 등, 2000)은 근비대 전이로(Takarada 등, 2004) 인한 가능성을 배제 할 수 없다. Yasuda 등(2014)의 연구에서 혈류제한 이후 몸쪽 부위의 근육인 큰볼기근의 두께 증가를 보고하여 본 해석을 뒷받침한다.

셋째 혈류 제한 도중 휴식시간은 근육의 두께 변화를 준다는 것이다. 혈류 제한 커프가 팽창하여 기계적 압박을 받아 동맥 혈류가 부분적으로 제한되어 정맥혈류 회기와 근육 조직내의 저산소증을 유발한다(Larkin 등, 2012). 저산소증 환경에서 우리 몸은 성장호르몬 양을 증가시키며(Takarada 등, 2004) 성장호르몬은 근육과 연골의 성장에 관여하고 인슐린양성인자(insulin-like growth factor 1, IGF-1)의 합성을 유도하여(Yakar 등, 2002) 근육의 성장에 관여한다. 성장호르몬과 IGF-1은 혈류 제한 운동 도중 휴식시간과 관계되는데 30초 휴식시간이 주어진 군보다 90초 휴식시간이 주어진 군에서 성장호르몬과 IGF-1의 증가를 보고하여(You 등, 2008) 본 연구에서 세트 간 2분간의 휴식시간이 근육성장에 관여하는 성장호르몬과 IGF-1의 양을 증가시켜 이러한 결과가 발생한 것으로 생각되고, 각 측정 변수들의 차이 값을 보면 CG보다 EG에서 더 많은 두께 변화를 보였고 밀도와 백색영역지수도 CG보다 EG에서 감소 폭이 더 커 이러한 해석을 뒷받침 해주며 이러한 결과를 보면 개별 운동보다 혈류제한 운동과 함께 사용하면 더욱 효과적인 것이라고 생각된다.

근육 크기의 증가는 부분적으로 혈류제한운동 동안과 이후에 관찰되는 급성 부종의 결과일수도 있다는 보고도 있지만(Pearson 과 Hussain, 2015) 근육두께와 상관관계가 있는 근력 향상의 변화와(Wilk 등, 2020) 훈련 2~10일 이후에도 근육 크기 증가는 유지가 되는 것을 확인할 수 있어(Nielsen 등, 2012) 본 연구에서 5주 후에 초음파로 확인한 큰볼기근 두께 증가와 밀도 및 백색영역지수가 감소 유지되는 것을 확인하여 선행 연구 결과를 지지하고 있다.

본 연구는 특정 지역의 특정 연령층을 대상으로만 진행하였고 여러 근육의 구조적 특성을 확인하지 못하여 일반화하기는 부족하고 다른 다리 근육의 구조적 특성과 생체 내(in vivo) 변화를 확인하지 못한 점과 여러 압력을 이용하지 못해 아쉬움이 남는다. 하지만 혈류제한운동을 통해 뇌성마비 아동의 근육의 구조적 특성 변화를 확인할 수 있어 긍정적으로 생각하고 향후 본 연구에서 확인하지 못한 몸통과 다리 근육들의 구조적 특성과 운동방법과 혈류 압력을 다변화하여 질적 연구가 필요해 보인다.

V. 결론

본 연구는 7세에서 10세의 경직성 뇌성마비 아동을 대상으로 혈류제한 자전거 타기 운동 적용 후 일어서기 시 작용하는 큰볼기근 두께와 밀도 및 백색영역지수 변화를 확인하고자 하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 큰볼기근은 실험 전 후에 실험군과 대조군에서 유의한 차이를 보였고($p<0.05$) 군 간 변화에서 대조군보다 실험군에서 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 큰볼기근 밀도 변화는 실험 전 후에 실험군과 대조군에서 유의한 차이를 보였고($p<0.05$) 군 간 변화에서 대조군보다 실험군에서 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 큰볼기근 백색영역지수 변화는 실험 전 후에 실험군과 대조군에서 유의한 차이를 보였고($p<0.05$) 군 간 변화에서 대조군보다 실험군

에서 유의한 차이가 있었다($p<0.05$).

참고문헌

- 김효원과 안소윤. 뇌성마비 아동의 대동작 수행평가(GMPM)와 아동용 균형척도(PBS) 사이의 상관성 연구 대한 물리치료과학회지 2015;22(2):1-10.
- 양경옥, 오명화, 김정자. 경직형 양지마비아의 기립시 하지근 활성화와 하지 관절각에 관한 연구. 한국재활심리학회 2009;16(3):1-20.
- 이완희. 재활 영상해부학. 서울. 대한나래출판사; 2018.
- 이연섭과 남택길. 청소년기 경직형 뇌성마비아동의 체간강화 운동이 척추분절 및 보행에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지 2012;19(1):1-7.
- 윤세원, 황태연, 김용남, 등. 제 2형 당뇨병 환자의 말초신경기능 및 골격근의 Echogenicity 분석. 대한임상전기생리학회 2006;4(1):13-25.
- 정진규, 김용남, 황태연, 등. 정상 골격근의 근전도 중앙주파수 및 초음파 영상 밀도 분석. 대한물리치료학회 2006;18(1):83-94.
- 한종만, 박재철, 김금숙, 등. 불안정 지지면에서의 동적 안정화 운동이 허리근육의 두께 및 밀도에 미치는 효과. 한국산학기술학회 2015;16(3):1957-63.
- Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. J Appl Physiol 2006;100(5):1460-6.
- Apolo-Arenas MD, Jerônimo AFdA, Caña-Pino A, et al. Standardized outcomes measures in physical therapy practice for treatment and rehabilitation of cerebral PALSY: a systematic review. J Pers Med 2021;11(7):604.
- Cahill-Rowley K, Rose J. Etiology of impaired selective motor control: emerging evidence and its implications for research and treatment in cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 2014;56(6):522-8.
- Centner C, Wiegel P, Gollhofer A, et al. Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: a systematic review and meta-analysis. Sports Med 2019;49(1):95-108.
- Cook SB, Clark BC, Ploutz-Snyder LL. Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function. Medicine and science in sports and exercise. Med Sci Sports Exerc 2007;39(10):1708-13.
- Gage JR. Gait analysis. An essential tool in the treatment of cerebral palsy. Clin Orthop Relat Res 1993;288:126-34.
- Garvey MA, Giannetti ML, Alter KE, et al. Cerebral palsy: new approaches to therapy. Curr Neurol Neurosci Rep 2007;7(2):147-55.
- Houlihan CM. Walking function, pain, and fatigue in adults with cerebral palsy. Dev Med Child Neurol 2009;51(5):338-9.
- Janssen WG, Bussmann HB, Stam HJ. Determinants of the sit-to-stand movement: a review. Phys Ther 2002;82(9):866-79.
- Jessee MB, Dankel SJ, Buckner SL, et al. The cardiovascular and perceptual response to very low load blood flow restricted exercise. Int J Sports Med 2017;38(08):597-603.
- Kubota A, Sakuraba K, Koh S, et al. Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness. J Sci Med Sport 2011;14(2):95-9.
-

- Larkin KA, MacNeil RG, Dirain M, et al. Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. *Medicine and science in sports and exercise*. *Med Sci Sports Exerc* 2012;44(11):2077-83.
- Linero C, Choi SJ. Effect of blood flow restriction during low-intensity resistance training on bone markers and physical functions in postmenopausal women. *J Exerc Sci Fit* 2021;19(1):57-65.
- Maurits NM, Bollen AE, Windhausen A, et al. Muscle ultrasound analysis: normal values and differentiation between myopathies and neuropathies. *Ultrasound Med Bio* 2003;29(2):215-25.
- Nielsen JL, Aagaard P, Bech RD, et al. Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *J Physiol* 2012;590(17):4351-61.
- Nielsen PK, Jensen BR, Darvann T, et al. Quantitative ultrasound tissue characterization in shoulder and thigh muscles—a new approach. *BMC Musculoskelet Disord* 2006;7(1):2.
- Ogawa H, Nakajima T, Shibasaki I, et al. Low-Intensity Resistance training with moderate blood flow restriction appears safe and increases skeletal muscle strength and size in cardiovascular surgery patients: a pilot study. *J Clin Med* 2021;10(3):547.
- Pakula AT, Braun KVN, Yeargin-Allsopp M. Cerebral palsy: classification and epidemiology. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2009;20(3):425-52.
- Park 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.
- Patterson SD, Hughes L, Warmington S, et al. Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Front Physiol* 2019;15(10):533.
- Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med* 2015;45(2):187-200.
- Pereira-Neto EA, Lewthwaite H, Boyle T, et al. Effects of exercise training with blood flow restriction on vascular function in adults: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ* 2021;7(9):e11554.
- Pitsillides A, Stasinopoulos D, Mamais I. Blood flow restriction training in patients with knee osteoarthritis: systematic review of randomized controlled trials. *J Bodyw Mov Ther* 2021;27(7):477-86.
- Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A, et al. A report: the definition and classification of cerebral palsy april. *Dev Med Child Neurol Suppl* 2006;109(109):8-14.
- Slysz JT, Boston M, King R, et al. Blood flow restriction combined with electrical stimulation attenuates thigh muscle disuse atrophy. *Med Sci Sports Exerc* 2021;53(5):1033-40.
- Slysz J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport* 2016;19(8):669-75.
- 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.
- 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.
- 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.
- Wilk M, Krzysztofik M, Filip A, et al. The acute effects of external compression with blood flow restriction on maximal

- strength and strength-endurance performance of the upper limbs. *Front Physiol* 2020;10(11):567.
- 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.
- 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.
- You JM, Park HC, Yoon SJ. The effects of different resting intervals in strength training with vascular occlusion on hormonal response and muscular strength. *KJPE* 2008;47(6):645-58.
-