

The effects of isokinetic exercise with acute blood flow restriction on isometric quadriceps strength, muscle fatigue, and muscle contraction displacement

Eonho Kim, Bogeun Lee, Sunhye Kim, Keehyun Kim, & Kwangkyu Lee*

Korea Institute of Sport Science

[Purpose] The purpose of this manuscript was to investigate the effect of high and low speed blood flow restriction versus non-blood flow restriction isokinetic exercise on isometric muscle strength, muscle fatigue, and muscle contraction displacement. **[Methods]** The subjects were consisted of ten males without non-specific muscular skeletal disease. They were classified into four training groups: ① high speed(300°/s) without blood flow restriction, ② high speed(300°/s) under blood flow restriction, ③ low speed(90°/s) without blood flow restriction, ④ low speed(90°/s) under blood flow restriction. Before and after the intervention, all of the subjects underwent measurements of isometric quadriceps strength, muscle fatigue, and muscle contraction displacement. **[Results]** In regard to isometric quadriceps strength before & after intervention, there was no significant difference between groups. For the lactic acid measurement before & after intervention, there was a significant difference between groups($p<.05$). Also, there was a significant difference between groups($p<.05$) in muscle contraction displacement in terms of Dm but there was no significant difference between groups in terms of Tc **[Conclusions]** Isokinetic exercise with blood flow restriction had effects on lactic acid and muscle contraction displacement.

Key words: Blood flow restriction, Isokinetic strength, Isometric strength, Lactic acid, TMG

서 론

스포츠현장에서는 선수들의 체력 향상을 위해 다양한 형태의 훈련들이 적용되고 있으며, 이런 훈련들은 스포츠 과학의 근거중심적인 접근을 통하여 선수들의 이상적인 경기력 향상에 도움이 될 것으로 여겨지고 있다(Malina et al., 2004; Bompa, 2009). 이런 경기력 향상을 위한 대표적인 훈련 방법인 저항성운동은 현장에서 가장 빈번하게 활용되고 있으며, 이를 통해 최대근력, 근지구력 및 파워 향상을 기대할 수 있게 된다(ACSM, 2006). 특히, 최대근력의 향상을 위해서는 2~10 RM(repetition

maximum)의 강도로 실시되는 것을 권장하고 있으며(Campos et al., 2002), 1-RM의 75% 이상의 고강도 저항성운동이 근력 향상을 위해 효과적이라고 제시하였다(Kraemer & Ratamess, 2004; Spreuwenberg et al., 2006). 그러나 고강도로 실시되는 전통적인 방식의 저항성운동은 근비대를 유도하여 근력의 향상을 기대할 수 있지만 대부분의 운동선수들은 팀 훈련과 같은 과도한 훈련 뒤 저항성운동을 실시하게 되므로 피로 누적으로 인하여 경기력 감소 등의 부작용을 경험하게 된다(Kraemer & Bradley, 1997; Bompa & Buzzichelli, 2014). 고강도 저항성운동에서 나타날 수 있는 부작용을 예방하기 위해 저강도 저항성운동을 적용하게 되면 미토콘드리아의 산화능력은 향상되지만 스포츠 현장에서 요구되어지는 효과적인 근력수행능력의 기대치에 도달하지 못하는 경우가 발생한다(Holloszy & Booth,

논문 투고일 : 2018. 10. 19.

논문 수정일 : 2018. 11. 30.

게재 확정일 : 2018. 12. 07.

* 교신저자 : 이광규(kwangkyu78@kspo.or.kr).

1976; Tan, 1999). 이러한 이유로 현장에서는 고강도 저항성 훈련을 선호하고 있으며, 선수들은 지속적인 피로 상황에 직면하게 된다. 과도한 피로 누적은 상해를 유발하여 운동의 긍정적인 면이 반감되고 결국 운동을 기피하게 되는 심리적 불안 현상까지 유발하게 된다(Bird, 2013). 이런 부정적인 효과를 예방하기 위해서는 운동 참여자, 선수 및 코치들의 주의와 관심을 중요하지만 부작용을 최소화하고 안전하게 체력을 향상시킬 수 있는 훈련방법의 도입이 시급한 실정이다.

최근 선택적으로 단련하고자 하는 신체부위에 압력 커프(Cuff)를 활용하여 혈류를 제한 후 운동을 실시하게 되는 혈류제한운동(Blood Flow Restriction Training: BFRT)에 이목이 집중되고 있다(Cook et al., 2017; Dankel et al., 2017; Vanwey et al., 2017; Slys et al., 2015). 혈류제한훈련은 일본에서 1970년대에 가능성이 제기되어 이후 가압 훈련(Kaatsu training)이라는 명칭으로 명명되었으며, 강화하고자 하는 신체 부위에 압력을 가해 혈류를 제한한 후 저항도의 훈련으로도 고강도 훈련 효과를 기대할 수 있도록 개발된 훈련 방법이다(Abe et al., 2005; Loenneke et al., 2012). 적용방법은 단련하고자 하는 사지 말단에 커프를 이용하여 기계적 압박을 가하고 운동을 실시한 후 커프를 제거하게 되면 급격한 혈관 확장으로 과다한 산소가 혈관으로 유입된다. 이후 조직들의 과도한 손상이 유발되고 이를 치유하기 위해 위성세포가 확산되어 근섬유 수 증가로 인한 근력 및 근비대 향상을 기대할 수 있게 된다(Shinha-Hikim et al., 2002). 선행연구에서는 이런 훈련방법이 율혈에서 나타나는 현상으로, 지구력과 같은 유산소성 운동의 효과를 무산소성 운동으로 전환할 수 있음을 제시하였으며(Takano et al., 2005), 근 비대 및 근력의 증가에 효과적인 것으로 다수의 연구에서 제시하고 있다(Dankel et al., 2017; Dankel et al., 2016; Abe et al., 2005; Beekley et al., 2005; Takarada et al., 2002). 국내에서도 다수의 연구가 진행되고 있는데 하지에 혈류 제한을 적용한 후 2주간의 걷기 운동을 실시한 결과 대퇴 굴근력이 1.4~2% 증가한 것으로 나타났으며(Jeon et al., 2009), Kim & Sin(2017)의 연구에서는 12주간 하지에 혈류제한 후 1RM 30% 강도로 저항 훈련을 적용한 결과 등속성 대퇴 신근력이 약 17% 증가한 것으로 나타났다. Kim et al.(2018)의 연구에서는 건강한 성인 남성 10명을 대상으로 급성 혈류 제한 훈련을 실시한 결과 대퇴 둘

레가 1.2~2.4%까지 증가된 것으로 나타났으며, Kwon & Ahn(2012)의 연구에서는 대퇴근에 혈류제한을 적용한 후 8주간 주 3회 맨손운동(non-weight bearing)을 실시한 결과 대퇴 근단면적이 약 9.5% 증가되는 것으로 나타나 저항도 혈류제한 훈련이 근력 및 근단면적 증가에 효과가 있음을 알 수 있다. 그러나 대부분의 혈류 제한 연구들은 단순 근력 및 근비대 변화만을 관찰하였으며, 신체 활동과 직접적으로 연관되는 근육 피로도 및 근강직도와 같은 근기능 평가에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

활동하는 근육 내 정맥 환류가 제한되면 에너지 대사 체계가 유산소성 대사에서 무산소성 대사로 전환하게 된다. 이때 근육 내 산소포화도가 낮아지게 되고 무산소성 대사에서 발생하는 부산물인 젖산(lactic acid)과 수소이온(H^+)이 과도하게 축적되어 근수축력 감소 및 근긴장도를 증가시키는 원인으로 작용하게 된다(Sato et al., 2005; Jeon et al., 2009). 이런 근생리적 변화를 근기능 평가 방법으로 이용하게 되면 현재 운동 수준 및 근피로도를 예측할 수 있게 된다. 현재 스포츠과학 분야에서는 이런 근기능 평가를 위해 근전도(Electromyography: EMG)를 활용하고 있으나, 사용자의 숙련도, 외부 간섭, 주변 환경의 제약 및 결과값 해석의 복잡성 등으로 인하여 그 활용도가 낮아지고 있다(Ma, 2009). 그러므로 숙련도 및 외부 환경적 문제를 최소화하며 결과 해석이 쉽게 이루어져 선수 및 피험자에게 빠른 정보를 제공할 수 있는 측정방법의 적용이 필요한 실정이다.

최근 근피로도 및 근강직도를 평가하기 위한 비침습적인 방법으로 Tensiomyography(TMg)가 스포츠과학 분야에서 주목을 받고 있다(Garcia-Manso et al., 2012). TMG는 의학계에서 다발성경화증(Neamtu et al., 2014) 및 인대손상(Alentorn-Geli et al., 2015)을 확인하는데 활용되어 왔으나, 최근 국외 연구에서 운동처치에 따른 근기능 변화에 대한 관찰에 활용되고 있다(Loturco et al., 2017; Loturco et al., 2015; Rey et al., 2012). 특히 사용이 용이하며, 결과해석이 빠르고 외부 간섭에 대한 영향을 최소화할 수 있다는 점에서 다양한 학계에서 관심을 모으고 있다. 그러나 이런 용이성에도 불구하고 국내에서는 TMG를 활용한 연구는 매우 제한적이며, 또한 혈류제한을 통한 효과검증 연구에서의 그 활용도 매우 낮은 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 혈류제한을 통한 근수축 특성을 TMG를 통해 비교·분석하여 추후 다양한 종목의

선수들의 체력 향상을 위한 프로그램 구성에 있어 기초 자료를 제공하는데 있다.

연구방법

연구대상

본 연구는 만 20세 이상 건강한 성인 10명을 대상으로 실시하였다. 연구대상자로 선별하기 위해 신체구성 측정 및 설문조사를 실시하였으며, 연구대상자 제외 기준은 다음과 같다. 1) 다리와 허리 등의 근·골격계 질환이 있는 대상자, 2) 현재 측정에 영향을 미치는 질환을 앓고 있거나 그로 인한 약물을 복용하고 있는 대상자, 3) 본인 스스로 운동이 불가능한 대상자. 연구대상자들에게 실험목적과 과정에 대해 충분히 설명을 하고 실험참가 동의서를 작성한 뒤 실험을 진행하였다. 연구대상자들의 신체적 특성은 <Table 1>과 같다.

Table 1. Characteristics of subjects (Mean $\pm$ SD)

	Age (years)	Weight (kg)	Height (cm)	%BW (%)	SMM (kg)
Male (n=10)	30 ± 2.7080	77.57 ± 8.9543	178.54 ± 5.9995	20.29 ± 2.4329	34.99 ± 3.4565

%BW: percent body fat; SMM: skeletal muscle mass

연구절차

본 연구는 건강한 성인 남성 10명을 대상으로 혈류제한 유·무에 따른 등속성 속도 차이의 결과를 사전·사후로 관찰하였다. Batterham & Atkinson(2005)는 실험군과 대조군으로 나눈 연구보다 반복측정(repeated measures) 연구 또는 교차연구(cross-over designs)가 통계적 검증력이 더 높으며, 특히 두 그룹을 대상으로 하여 t-test를 병행하는 반복측정 연구는 표본이 5명 이상일 때 90% 이상의 통계적 검증력을 보인다고 보고하였다. 이에 본 연구에서는 처치에 따른 효과 검증을 위해 4가지 형태의 운동을 시간간격을 두고 적용하였으며, 적용 방법은 다음과 같다. 1) 비 혈류제한 고속 등속성 운동(300°/s) 그룹. 2) 혈류제한 고속 등속성 운동(300°/s) 그룹. 3) 비 혈류제한 저속 등속성 운동(90°/s)

그룹. 4) 혈류제한 저속 등속성 운동(90°/s) 그룹.

1차 방문 시 실험 동의서와 신체구성 측정을 실시하였으며, 1주일 간격을 두어 총 4주 동안 실험을 진행하였다. 실험 외 생리적 변인의 영향을 배제하기 위해 검사 전 24시간 동안 과도한 신체활동, 알코올 및 카페인 섭취 여부를 확인 후 실험을 진행하였다. 사전 검사에서 안정 상태의 젖산 수치를 확인하기 위해 채혈을 실시하였고 근 수축 변위를 알아보기 위해 TMG 측정을 실시하였다. 근력의 변화는 등속성 측정 장비를 통해 등척성 검사를 실시하였고 4가지 운동 그룹을 실험참여자(가) 직접 뽑아서 선정하는 무작위 교차방식(randomized cross-over design)을 통해 검사를 진행하였다. 이후 등척성 근력, 근피로도 및 근기능성 변화를 관찰하기 위해 사후검사를 진행하였다. 자세한 연구절차는 <Table 2>와 같다.

Table 2. Schematic diagram of study process

PRE	Lactate	TMG	Isometric test
Randomized cross-over			
Intervention	• N_BFR + Isokinetic exercise(300°/s)		
	• BFR + Isokinetic exercise(300°/s)		
	• N_BFR + Isokinetic exercise(90°/s)		
	• BFR + Isokinetic exercise(90°/s)		
Set, Reps	3 set * 10 reps		
Rest	30 sec		
POST	Lactate	TMG	Isometric test

PRE: pre exercise; POST: post exercise; N_BFR: non blood flow restriction; BFR: blood flow restriction; TMG: tensiomyography

측정 방법 및 조사도구

신체구성

대상자 선별 및 대상자 별 신체조성을 확인하기 위해 Inbody 770, Biospace co., Korea를 이용하였으며, 피험자는 몸에 소지한 귀금속과 액세서리를 제거한 후 간편한 복장으로 전극 발판에 맨발로 올라서고 직립자세를 취한 뒤 전극 손잡이를 몸통에서 15° 정도 옆으로 벌린 상태로 잡게 하여 측정을 진행하였으며 체중, 체지방률, 근육량 등의 검사를 진행하였다.

Tensiomyography(TMg)

TMG(tmg-s1, TMG-BMC Ltd., Slovenia)는 근 수

축 특성, 수축 속도, 근강직도 및 근피로도를 측정할 수 있는 장비로서, 의학 및 스포츠 과학 분야에서 연구 목적에 맞게 활용되고 있다(Kim et al., 2015). TMG는 목적 및 상황에 맞게 적용이 용이하며 골격근의 수축특성을 측정하기 때문에 많은 연구분야에서 활용도가 증가하고 있는 추세이다. 본 연구에서 사용할 TMG의 사용법은 <Fig. 1>과 같다.

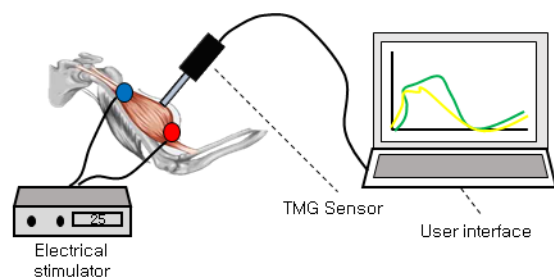


Fig. 1. Procedure of TMG

측정 방법은 테이블에 누운 상태로 실시하며, 피험자의 관절 각도에 맞게 패드를 무릎에 지지한다. 측정하고자 하는 부위에 두 개의 전기자극 패드를 부착하여 미세 전류를 통과시켜 근육의 불수의적 움직임을 유도하게 된다. 이때 근육의 움직임을 탐침(sensor)이 감지하여 다양한 근수축의 결과를 그래프로 제시하게 되는데 TMG에서 제시하고 있는 결과값으로서 ① 전기적 자극에 의해 그래프가 시작되는 지점에서 최대 높이까지 이동하는 높이인 Maximal Displacement(Dm), ② 자극에 의해 최초 시작되는 지점에서 최대 높이까지의 0%에서부터 10%까지 소요되는 시간인 delay time(Td), ③ 10~90%까지 수축하는데 걸리는 시간인 contraction time(Tc), ④ 양쪽 옆 그래프의 50% 지점의 시작과 끝이 되는 지점의 시간인 sustain time(Ts), ⑤ 그래프의 하강이 시작되는 90% 지점에서부터 50%까지 도달하는 시간인 half-relaxation time(Tr)까지 총 5가지의 변위를 확인할 수 있으며(Carrasco et al., 2011; Tous-Fajardo et al., 2010), 그래프 모형은 <Fig. 2>와 같다. Valenci & Knez(1997)의 연구에서 수축시간(Tc)의 크기가 길어지거나 짧아지는 것은 지근섬유(type I)와 속근섬유(type II)의 동원과 관련이 있는 것으로 보고하고 있으며, 속근섬유(type II)의 동원이 많아지면서 수축시간(Tc)의 길이가 짧아지면 최대변위(Dm)는 낮아지고 근육의 강직도나 긴장도가 크다고 보

고하고 있다(Pisot et al., 2008). 선행연구에서는 근피로를 확인하기 위한 변인으로 Dm이 가장 신뢰도가 높은 것으로 제시하고 있으며(Krizaj et al., 2008), 특히 Dm은 전기적 자극에 의한 강직도를 평가하는데 좋은 결과값으로 제시되고 있다(Pisot et al., 2008). Tc 또한 근수축 속도에 따른 근섬유 형태 및 근피로 평가를 위한 중요한 변인으로 제시되고 있어(Hunter et al., 2012; Pisot et al., 2008), 본 연구에서는 선행연구와 동일한 근수축 변위의 변화를 살펴보기 위해 수축시간(Tc)과 최대변위(Dm)를 확인하였다.

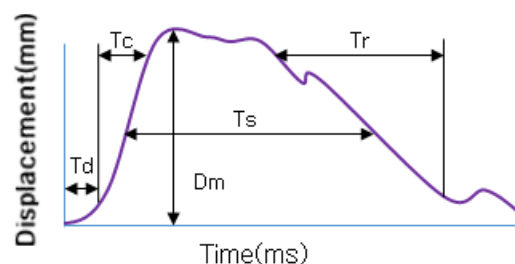


Fig. 2. Graphical Model of TMG

등속성(Isokinetic) 및 등척성(Isometric) 측정
본 연구에서 등속성(isokinetic) 근력 운동과 등척성(isometric) 근력 검사를 위해 HUMAC NORM(CSMI, USA)을 사용하였다.

등속성 근력 운동은 전체 관절 각도에서 최대 부하를 발생시킬 수 있기 때문에 부하에 따른 근육의 생리학적 변화를 관찰하기에 가장 적합한 측정방법으로 제시되고 있다(Hislop & Perrine, 1967; Moffroid et al., 1968). 그러므로 본 연구에서는 선행연구에서 제시하고 있는 고속(저강도 ⇨ 300°/s) 및 저속(고강도 ⇨ 90°/s)의 운동강도를 설정하여 등속성 저항 운동을 실시하였다(Sakuraba & Ishikawa, 2009). 세트간 휴식시간은 Bottaro et al. (2005)의 연구에서 제시하고 있는 30초로 설정하였다.

혈류제한(Blood Flow Restriction)

혈류제한은 전기 공압 제어로 압력 조절 벨트와 실시간 모니터링이 가능한 혈류제한 장비(kaatsu master, Kaatsu Global., USA)를 이용하였다.

Takarada et al. (2000)의 연구에서는 220mmHg으로 혈류제한 훈련을 실시하였을 때 급격한 혈관 확장

으로 과도한 산소가 혈관으로 유입되면 혈관 손상을 유발하며 이를 치유하는 과정에서 성장호르몬(growth hormone: GH)의 증가로 인한 근육 및 근비대의 증가를 기대할 수 있을 것으로 보고하고 있다. 따라서 본 연구에서 혈류제한 유·무 차이의 효과를 확인하기 위해 혈류제한 압력을 220mmHg로 설정하였다.

혈류제한의 압력 벨트는 하지의 넙다리뼈와 엉덩관절 사이에 착용하여 압박하였다. 본 운동을 실시하기 전 압력 벨트를 착용시켜 혈류제한에 대한 적응을 시킨 후 벨트를 제거하여 약 15분간 휴식을 취한 뒤 다시 압력 벨트를 착용하여 준비운동과 본 운동을 실시하였다. 혈류제한 과정에서 참여자의 상태를 지속적으로 확인하였으며, 어지럼증이나 이상 증세를 보일 경우 즉시 중단 후 휴식을 취하게 하여 실시하였다.

젖산검사(blood lactate test)

외부적 자극에 의한 국부 산소부족과 같은 생체반응인 젖산 수치를 알아보기 위해 실험 전·후 피험자의 검지 끝 부위를 알콜솜으로 소독 후 Finger-tip 방식으로 1회용 바늘을 이용하여 30 μ l를 채취하고 혈액 분석용액과 섞은 후 젖산분석기(EKF, BIOSEN C-Line, Germany)를

통해 젖산 수치를 분석하였다.

통계 처리

측정한 모든 변인들의 값은 SPSS PC+ for Windows (version 23.0) 통계 프로그램을 이용하여 평균과 표준편차를 제시하였다. 측정 방법(집단)과 사전·사후(시기) 값의 차이검증은 two-way repeated measure ANOVA를 실시하여 평가하였으며 분석결과 집단의 상호작용, 주효과 또는 집단검사가 유의한 경우 각 집단 내 두 검사간의 차이는 종속 t-검증(paired t-test)을 사용하였다. 사후검정은 대비검정을 통해 진행하였다. 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다.

연구결과

등척성 근력

혈류제한의 유·무에 차이를 두고 고속과 저속의 훈련을 시켰을 때 근력의 변화는 <Table 3>과 같다. 총 4그룹의 비교 결과에서는 통계적으로 유의한 차가 나타나지 않았다.

Table 3. Changes in Isometric strength, Tc, Dm & Lactate

(Mean $\pm$ SD)

Factor	Group	Pre	Post	df	Comparison group							
					N_BFR_300°/s		BFR_300°/s		N_BFR_90°/s		BFR_90°/s	
					f	p	f	p	f	p	f	p
Isometric strength	N_BFR_300°/s	289.1 $\pm$ 62.82	289.7 $\pm$ 41.21	1			.080	.784	.899	.368	.319	.586
	BFR_300°/s	320.6 $\pm$ 50.41	317.3 $\pm$ 56.06	1					3.39	.099	.245	.633
	N_BFR_90°/s	298.3 $\pm$ 43.53	268.2 $\pm$ 43.56	1							.220	.650
	BFR_90°/s	323.5 $\pm$ 88.81	307.8 $\pm$ 63.87	1								
Tc	N_BFR_300°/s	31.02 $\pm$ 6.52	30.57 $\pm$ 6.77	1			1.627	.234	1.078	.326	.407	.539
	BFR_300°/s	32.33 $\pm$ 6.69	29.73 $\pm$ 5.54	1					.102	.757	1.277	.288
	N_BFR_90°/s	31.88 $\pm$ 6.57	28.64 $\pm$ 5.25	1							.991	.803
	BFR_90°/s	31.09 $\pm$ 5.37	29.96 $\pm$ 5.51	1								
Dm	N_BFR_300°/s	7.64 $\pm$ 2.84	8.68 $\pm$ 2.18	1			6.685	.029*	14.972	.004*	29.495	.000**
	BFR_300°/s	8.17 $\pm$ 1.65	7.51 $\pm$ 2.02	1					.083	.780	3.156	.109
	N_BFR_90°/s	7.94 $\pm$ 2.26	7.45 $\pm$ 2.06	1							5.423	.045*
	BFR_90°/s	8.37 $\pm$ 1.78	6.80 $\pm$ 1.52	1								
Lactate	N_BFR_300°/s	1.41 $\pm$.35	4.01 $\pm$ 1.72	1			6.469	.032*	.168	.692	9.049	.015*
	BFR_300°/s	1.53 $\pm$.27	5.07 $\pm$.55	1					.938	.358	5.611	.042*
	N_BFR_90°/s	1.45 $\pm$.39	4.38 $\pm$ 2.00	1							6.422	.032*
	BFR_90°/s	1.74 $\pm$.35	6.22 $\pm$ 1.09	1								

p: group $\times$ time; df: degree of freedom; M: mean; SD: standard deviation; N_BFR: non blood flow restriction; BFR: blood flow restriction; * $p < .05$, ** $p < .001$

근기능 검사(TMG)

Tc(contraction time)의 변화

혈류제한의 유·무에 따른 고속과 저속의 훈련에서 근장력(TMG) 5개의 변인 중 Tc(contraction time)의 변화는 <Table 3>와 같다. 총 4그룹의 비교 결과에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

Dm(displacement)의 변화

혈류제한의 유·무에 따른 고속과 저속의 훈련에서 근장력(TMG) 5개의 변인 중 Dm(displacement)의 변화에서 그룹 1과 그룹 2, 그룹 3과 그룹 4, 그룹 1과 그룹 3, 그룹 1과 그룹 4에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 사전과 사후의 변화는 다음과 <Fig 3>과 같다.

젓산

혈류제한의 유·무에 따른 고속과 저속의 훈련에서 젓산의 수치는 피로도를 확인하는 지표로 사용하였다. 젓산의 변화에서 그룹 1과 그룹 2, 그룹 3과 그룹 4, 그룹 2와 그룹 4, 그룹 1과 그룹 4에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 사전과 사후의 변화는 <Fig 4>와 같다.

논 의

본 연구에서는 혈류제한에 대한 등척성 근력의 변화, 젓산을 통한 피로 수준 및 TMG를 활용한 근기능 반응의 결과를 기초로 하여 논의를 전개하고자 한다.

혈류제한 운동의 적용 전·후 등척성 근력 변화

본 연구에서는 혈류제한 전·후의 등척성 근력을 측정하여 처치에 따른 효과를 관찰하고자 하였으며, 측정 결과 4그룹 모두 그룹 간 통계적 유의차가 나타나지 않았다. Kubo et al.(2006)의 연구에서는 혈류제한훈련(1RM 20%)과 전통적인 저항성 훈련(1RM 80%)을 12주간 주 3회 적용 후 등척성 근력을 비교한 결과 동일한 효과가 있는 것으로 나타났으며, 또 다른 선행연구에서도 주 3회, 6주, 1RM 20% 강도의 혈류제한그룹과 1RM 80% 강도의 전통적인 저항성 훈련 그룹에서 동일한 근력 향상이 나타났다(Karabulut et al., 2010). 다른 선행연구에서도 강도별 혈류제한 유·무에 따른 차이를 비교 시 저강도의 혈류제한 그룹에서 통계적 유의차가 나타나 그 효용성에 대해 제시하고 있지만(Yasuda

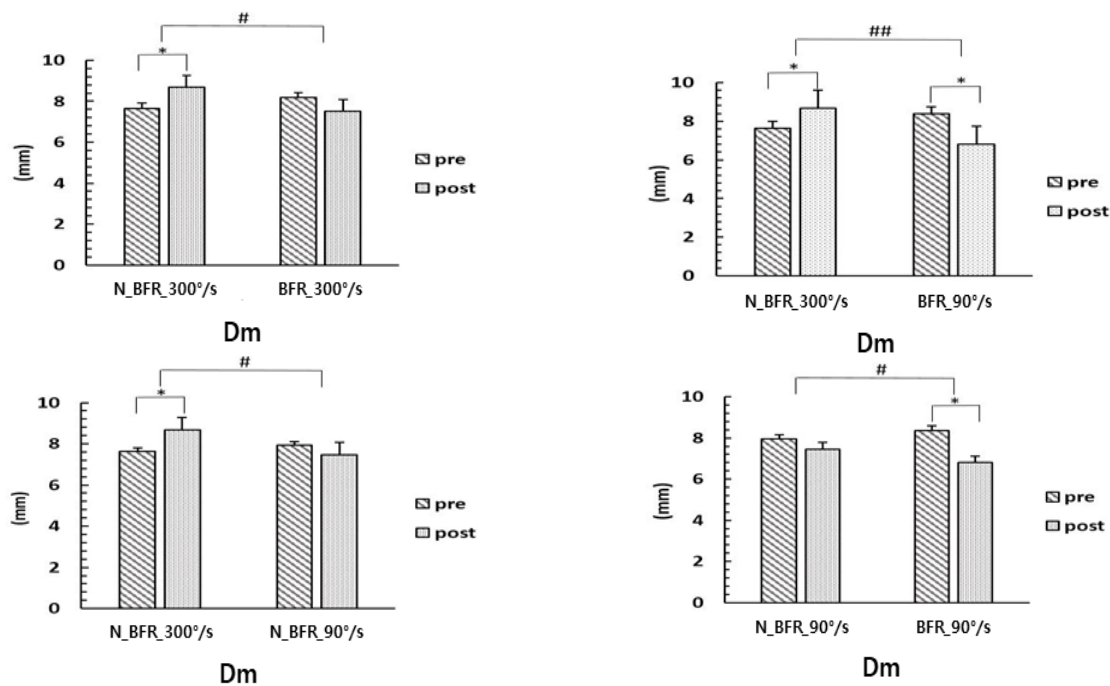


Fig. 3. Changes in displacement(Dm)

N_BFR: non blood flow restriction; BFR: blood flow restriction;

* $p < .05$, *** $p < .001$; #: comparison between groups; # $p < .05$, ## $p < .001$

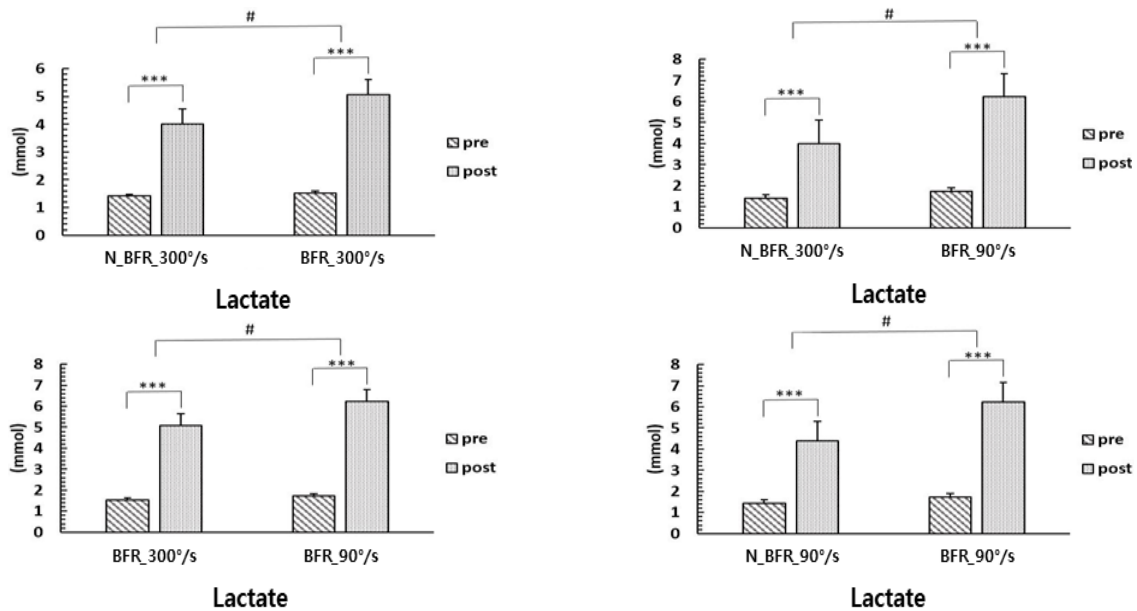


Fig. 4. Changes in lactate

N_BFR: non blood flow restriction; BFR: blood flow restriction;

* $p < .05$, *** $p < .001$; #: comparison between groups; # $p < .05$, ## $p < .001$

et al., 2011; Yasuda et al., 2005), 대부분의 선행연구들은 급성효과가 아닌 일정기간의 처치 후 나타나는 근신경·생리적 적응에 따른 효과임을 알 수 있다. 본 연구와 동일하게 1회성 연구로 결과를 제시한 Karabulut et al.(2006)의 연구에서도 일반인을 대상으로 자신의 최대 등척성 근력의 20%의 강도로 5세트 20회의 등척성 운동(2초 수축, 1초 이완)을 실시한 결과 혈류제한 유·무에 따른 그룹 간 근력 차이가 나타나지 않았다. 이런 결과가 나타난 이유에 대해서는 처치를 위해 설정한 강도(1RM 20%)가 피험자들에게 충분한 근피로 및 대사적 변화를 유도하지 못한 것으로 언급하고 있으며, 이런 근피로 및 근신경적인 변화를 유도하기 위해서는 1RM 20%이상의 강도로 급성이 아닌 장기간의 처치가 필요함을 제시하고 있다. 근력 향상을 위해서는 훈련 형태와 강도도 중요하지만, 주 2~3회 이상의 자극과 이런 자극이 6주 이상 지속되어야 근신경 발달을 통하여 근력 향상을 기대할 수 있으며, 근비대로 인한 근력 향상을 기대하기 위해서는 그 이상의 기간이 소요된다(Moritani & deVries, 1979; Moritani, 1993). 그러므로 본 연구에서 적용한 1회성 처치는 피험자들의 처치 전·후 근력 차이가 나타날만한 근 신경적 피로감을 유도하지 못한 것으로 여겨지며, 추후 연구에서는 처치에 대

한 효과를 명확하게 밝히기 위해 장기간 혈류제한훈련의 적용이 필요할 것으로 여겨진다.

혈류제한 운동의 적용 전·후 젖산 변화

젖산은 훈련에 의한 신체적 변화를 관찰하기 위해 활용되는 중요 변인으로써 운동형태, 강도 및 빈도에 많은 영향을 받게 된다(Bompa, 2009). 안정시 체내 젖산은 비교적 낮은 수준을 유지하고 있지만, 고강도 활동 시 체내 해당과정(anaerobic glycolysis)을 통해 포도당 또는 당원을 분해시켜 다량의 젖산 또는 피루브산을 축적하게 된다. 이는 에너지 생산에 있어서 유입되는 산소를 미토콘드리아가 충분히 산화시킬 수 있는 시간적 여유가 부족하거나, 활동 강도가 높아지게 되면 글라이코젠의 분해를 가중시켜 체내 과다한 젖산이 축적되게 된다(Janssen, 2001). 젖산 축적은 $\text{VO}_{2\text{max}}$ 65%이상의 강도에서 급격하게 나타나기 시작하며, 무산소성 운동 및 저항성 운동 시 발현양의 급격한 증가가 나타나므로(Richardson et al., 1998, Donovan & Brooks, 1983) 운동 적용 후 피로에 대한 신체 변화를 확인하는데 중요한 척도임을 알 수 있다.

본 연구에서는 혈류제한 처치 시 그룹 간 유의한 차

이가 있는 것으로 나타났다($p < .05$). 특히, 혈류제한을 실시한 고부하 운동적용(BFR 90)에서 다른 세 그룹과 비교하여 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났으며($p < .05$), 혈류제한을 실시한 그룹(BFR 90, BFR 300)에서 혈류제한을 실시하지 않은 다른 그룹(non-BFR 90, non-BFR 300)과 비교하여 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p = .032$, $p = .032$). 선행 연구에서는 자신의 체중에 20%의 무게로 5세트, 세트당 14회를 반복하는 레그익스텐션을 실시한 결과 운동 직후 안정시 젖산과 비교하여 2배 이상의 높은 젖산($p < .05$)이 발현되는 것으로 나타났다(Takarada et al., 2000). 또한, 노인을 대상으로 하지의 혈류제한을 실시한 후 걷기운동을 시킨 결과 안정시와 비교하여 약 30% 이상의 젖산 증가가 나타났다(Natsume et al., 2016). 결국 운동강도의 증가는 체내 에너지 동원을 증가시키며, 특히, 무산소성 대사에서 얻어지는 에너지는 부산물인 젖산을 생성하는 원인으로 작용하게 된다. 본 연구에서도 다른 선행연구들과 비교하여 강도가 높을수록 낮은 강도의 운동보다 젖산 발현이 높았으며, 전술한 내용과 같이 혈류제한을 실시한 결과 적용하지 않은 그룹보다 더 많은 젖산이 생산되므로, 혈류제한의 적용은 지구력과 같은 유산소성 운동의 효과를 무산소성 운동의 효과로 전환할 수 있음을 확인할 수 있었다(Takano et al., 2005). 또한, 본 연구에서 적용된 non-BFR 90 그룹과 BFR 300그룹간의 통계적 유의차가 나타나지 않았으므로 저강도 혈류제한 적용은 고강도 훈련과 동일한 효과가 있음을 알 수 있다.

결국 충분한 산소 소비에서 발생하는 에너지 생산이 결여된다면 저강도 훈련으로도 젖산이 발현될 수 있다는 것을 본 연구에서 확인할 수 있었다. 비록 등척성 근력에서는 통계적 유의차가 나타나지 않았지만 젖산의 발현을 통하여 혈류제한의 적용이 저강도 훈련으로도 고강도 훈련 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

혈류제한 운동의 적용 전·후 TMG 반응 변화

근전도는 외부 간섭 및 환경적 요인에 영향을 받고 결과값에 대한 해석이 복잡하다는 단점(Ma, 2009)을 가지고 있어 이를 보완할 수 있는 검사방법으로 Tensiomyography(TMg)가 관심을 모으고 있다. 그러므로 본 연구에서는 혈류제한에 따른 등속성 운동 적용 후 근기능 변

화를 TMG를 통하여 논의를 하고자 한다.

García-Manso et al.(2012)의 연구에서는 고반복 그룹(8세트 $\times$ 15회 $\times$ 10kg)과 고중량 그룹(5세트 $\times$ 3회 $\times$ 30kg)을 분류하여 근피로 및 활성도에 대한 Dm 값을 측정한 결과 고반복 그룹의 경우 20.9%가 감소되었으며, 고중량 그룹의 경우 17.4%가 감소된 것으로 나타났다. 또한, Carrasco et al.(2011)의 연구에서는 2분간 최대 사이클링 후 대퇴직근(Rectus Femoris)의 근활성도 검사를 실시한 결과 사전과 비교하여 사후 Dm($p = .01$) 결과에서 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서도 non-BFR 300그룹은 BFR 90, BFR 300그룹과 비교하여 Dm($p = .000$, $p = .029$)에서 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났으며, non-BFR 90그룹도 BFR 90그룹과 비교하여 Dm($p = .045$)에서 통계적 유의차가 나타났다. 이는 García-Manso et al.(2012) 및 Carrasco et al.(2011)의 연구와 동일한 결과임을 알 수 있으며, 혈류 제한을 실시할 경우 근피로도 및 강직도가 높아지는 것을 알 수 있다. 비록 서로 다른 강도와 처치에 따른 차이가 있더라도 등척성 근력 측정에서 그룹간 통계적 유의차가 없는 것을 전제로 한다면 본 연구에서 제시하는 Dm 값은 유의미한 결과라고 할 수 있다.

Tc의 경우 Dm과 함께 근피로도 및 근섬유 형태를 확인할 수 있는 변인으로써 선행연구에서는 19명의 성인 남성을 대상으로 상완이두근의 신장성 수축을 적용한 결과 사전과 비교하여 사후에 수치가 증가하면서 통계적 유의차($p < .01$)가 있는 것으로 나타났다(Hunter et al., 2012). Pisot et al.(2004)의 연구에서는 187명의 어린이를 대상으로 TMG를 측정 후 스프린트 기록과 비교한 결과 외측광근과 대퇴이두근의 Tc값이 낮을수록 스프린트 기록이 좋은 것으로 나타났다. 선행연구와 같이 근피로가 유발되면 근수축력이 감소되어 수축시간이 증가되거나 지근섬유 비율이 높은 경우 스프린트와 같은 스피드 기록에 영향을 미치는 게 대부분의 연구 결과이다(Dahmane et al., 2005; Krizaj et al., 2008). 그러나 본 연구에서는 선행연구와 다르게 Tc 결과에서 통계적 유의차가 나타나지 않았으며, 사후 값이 사전과 비교하여 높아지는 경향이 있는 것으로 나타났다. 이런 경향성은 사전 준비운동에 따른 사후 근활성 작용(Post-activation Potentiation; PAP)의 원리로 설명될 수 있다. 본 훈련 전 실시되는 고강도 사전

준비 운동은 골지건기관(golgi-tendon organ)의 민감도를 낮추고 근방추기관(muscle spindle)의 민감도를 상승시켜 강한 신장성(eccentric contraction) 및 등척성 수축(isometric contraction)을 유도하게 된다(Baker & Newton, 2005; Hodgson et al., 2005). 이후 강한 근수축에 의한 칼슘 분비가 촉진되고 이는 운동단위(motor unit)의 동원을 증가시켜 이후 발생하는 근수축을 더욱 강력하게 유도하게 된다(Hodgson et al., 2005). 그러므로 본 연구에서 제시하고 있는 운동강도는 선행연구에서 제시하고 있는 결과와 같이 피로를 유발하기 보다는 PAP 작용을 활성화시키는 정도였을 것으로 여겨지며, 그 결과 Tc수축 속도가 향상된 것으로 생각된다.

결론 및 제언

본 연구의 목적은 국소 혈류제한 유·무에 따른 강도별 등속성 훈련의 적용이 등척성 대퇴근력 및 젖산에 미치는 영향을 관찰하여 저강도의 훈련으로도 고강도의 효과를 기대할 수 있는지를 규명하는데 있다. 또한, 국소 혈류제한 훈련의 적용 후 근육에서 나타날 수 있는 다양한 생리적 반응을 관찰하였는데, 연구결과를 요약하자면 다음과 같다.

1. 혈류제한 유·무에 따른 강도별 등속성 훈련의 적용이 등척성 근력 변화에 미치는 영향을 관찰한 결과 처치 전·후 그룹 간 통계적 유의차가 나타나지 않았다.
2. 혈류제한 유·무에 따른 강도별 등속성 훈련의 적용이 젖산변화에 미치는 영향을 관찰한 결과 그룹 간 통계적 유의차가 있는 것으로 나타났다.
3. 혈류제한 유·무에 따른 강도별 등속성 훈련의 적용이 근피로(Dm) 및 근강직도(Tc)에 미치는 영향을 관찰한 결과 Dm에서는 그룹 간 통계적 유의차가 나타났지만, Tc에서는 그룹 간 통계적 유의차가 없는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 혈류제한의 적용은 저강도에서도 젖산 및 근피로를 유발하여 고강도의 훈련 효과를 기대할 수 있음을 알 수 있으며, 특히, TMG의

적용으로 단순 근력 측정에서 확인할 수 없었던 근기능 변화를 관찰함으로써 강도별 근육의 반응을 확인할 수 있었다. 이는 고강도 기술 훈련을 실시하는 엘리트 선수들에게 체력 훈련 구성시 강도 및 빈도를 결정하는데 있어 기초자료로 활용될 것으로 여겨지며, 이는 과훈련 예방에 도움이 될 것으로 여겨진다.

추후 연구에서는 일반인이 아닌 엘리트선수의 체력 변화를 관찰하여 혈류제한 훈련의 적용에 대한 타당성을 관찰할 필요가 있으며, 급성효과가 아닌 선수들의 체력변화를 지속적으로 관찰할 수 있는 장기적인 연구 설계가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Abe, T., Kawamoto, K., Yasuda, T., Kearns, C. F., Midorikawa, T., & Sato, Y. (2005). Eight days KAATSU-resistance training improved sprint but not jump performance in collegiate male track and field athletes. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 19-23.
- ACSM. (2006). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Alentorn-Geli, E., Alvarez-Diaz, P., Ramon, S., Marin, M., Steinbacher, G., Boffa, J. J., Cusco, X., Ballester, J., & Cugat, R. (2015). Assessment of neuromuscular risk factors for anterior cruciate ligament injury through tensiomyography in male soccer players. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 23, 2508-2513.
- Baker, D., & Newton, R. U. (2005). Acute effect on power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(1), 202-205.
- Batterham, A. M., & Atkinson, G. (2005). How big does my sample need to be? a primer on the murky world of sample size estimation. *Physical Therapy in Sport*, 6(3), 153-163.
- Beekley, M. D., Sato, Y., & Abe, T. (2005). KAATSU-walk training increases serum bone-specific alkaline phosphatase in young men. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(2), 77-81.
- Bird, S. P. (2013). Sleep, recovery, and athletic performance: A brief review and recommendations. *Strength and Conditioning Journal*, 5(5), 43 - 47.
- Bompa, T., & Buzzichelli, C. (2014). *Periodization training for sports - Third Edition*. Human Kinetics.

- Bompa, T., & Haff G. G. (2009). *Periodization: Theory and methodology of training* (5th ed). Human Kinetics.
- Bottaro, M., Russo, A. F., & de Oliveira, R. J. (2005). The effects of rest interval on quadriceps torque during an isokinetic testing protocol in elderly. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4(3), 285-290.
- Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., Ragg, K. E., Ratamess, N. A., Kramer, W. J., & Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: Specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*, 88(1-2), 50-60.
- Carrasco, L., Sañudo, B., de Hoyo, M., & Ochiana, G. (2011). Tensiomyographic characteristics of rectus femoris after a single bout of intense exercise. *Journal of Social Sciences*, 7(3), 354-357.
- Cook, S. B., LaRoche, D. P., Villa, M. R., Barile, H., & Manini, T. M. (2017). Blood flow restricted resistance training in older adults at risk of mobility limitations. *Experimental Gerontology*, 99, 138-145.
- Dahmane, R., Djordjevic, S., Simunic, B., & Valencic, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle. Histochemical and tensiomyographical evaluation. *Journal of Biomechanics*, 38(12), 2451-2459.
- Dankel, S. J., Buckner, S. L., Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Mouser, J. G., Counts, B. R., Laurentino, G. C., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2016). Post-exercise blood flow restriction attenuates muscle hypertrophy. *European Journal of Applied Physiology*, 116(10), 1955-1963.
- Dankel, S. J., Jessee, M. B., Buckner, S. L., Mouser, J. G., Mattocks, K. T., & Loenneke, J. P. (2017). Are higher blood flow restriction pressures more beneficial when lower loads are used? *Physiology International*, 104(3), 247-257.
- Donovan, C. M., & Brooks, G. A. (1983). Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *American Journal of Physiology*, 244(1), 83-92.
- García-Manso, J. M., Rodríguez-Matoso, D., Sarmiento, S., de Saa, Y., Vaamonde, D., Rodríguez-Ruiz, D., & Da Silva-Grigoletto, M. E. (2012). Effect of high-load and high-volume resistance exercise on the tensiomyographic twitch response of biceps brachii. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(4), 612-621.
- Hislop, H. J., & Perrine, J. J. (1967). The isokinetic concept of exercise. *Phys Ther*, 47, 114 - 121.
- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: Underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585-595.
- Holloszy, J. O., & Booth, F. W. (1976). Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Annual Review of Physiology*, 18, 273-291.
- Hunter, A. M., Galloway, S. DR., Smith, I. J., Tallent, J., Ditroilo, M., Fairweather, M. M., & Howatson, G. (2012). Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 334-341.
- Janssen, P. (2001). *Lactate threshold training: Running, cycling, multisport, rowing, X-country skiing*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Jeon, J. M., Park, W. I., Jeon, B. G., Kim, J. K., Hho, H. S., & Choi, H. M. (2009). The effects of pressurization training with short-term walk on cardiorespiratory responses and skeletal muscle function. *Journal of the Korean Society of Living Environment System*, 16(1), 1-9.
- Karabulut, M., Abe, T., Sato, Y., & Bembem, M. G. (2010). The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *European Journal of Applied Physiology*, 108, 147-155.
- Karabulut, M., Cramer, J. T., Ryan, E. D., Anderson, R. L., Hull, H. R., Sato, Y., Abe, T., & Bembem, M. G. (2006). Effects of KAATSU on muscular function during isometric exercise. *International Journal of KAATSU Training Research*, 2(2), 19-28.
- Kim, C., Chai, J. H., Kim, B. K., Kim, C. H., & Bae, S. W. (2015). A novel method for the assessment of muscle injuries. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 33(2), 59-67.
- Kim, K. S., & Sin, S. H. (2017). Comparing the aspects of isokinetic muscle strength change of the low load resistance training with/without blood flow restriction and the high load resistance training. *Journal of Coaching Development*, 19(3), 75-84.
- Kim, T. H., Lee, S. H., Kim, Y. J., Kim, S. J., Kang, J. H., Kwak, H. B., & Park, D. H. (2018). 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. *Korean Society of Exercise Physiology*, 27(1), 50-61.
- Kraemer, W. J., & Bradley, C. N. (1997). *Overtraining in sport:*

- Factors involved with overtraining for strength and power.* Human Kinetics.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(4), 674-762.
- Krizaj, D., Simunic, B., & Zagar, T. (2008). Short-term repeatability of parameters extracted from radial displacement of muscle belly. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18, 645-651.
- Kubo, K., Komuro, T., Ishiguro, N., Tsunoda, N., Sato, Y., Ishii, N., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2006). Effects of low-load resistance training with vascular occlusion in the mechanical properties of muscle and tendon. *Journal of Applied Biomechanics*, 22, 112-119.
- Kwon, H. Y., & Ahn, S. Y. (2012). The effects of leg blood flow restriction exercise on muscle size and muscle strength. *Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association*, 10(1), 61-70.
- Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., & Rossow, L. M. (2012). Blood flow-restricted resistance exercise: Rapidly affecting the myofibre and the myonuclei. *The Journal of Physiology*, 590(21), 5271.
- Loturco, I., Gil, S., Laurino, C. F. de S., Roschel, H., Kobal, R., Cal Abad, C. C., & Nakamura, F. Y. (2015). Differences in muscle mechanical properties between elite power and endurance athletes: A comparative study. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(6), 1723-1728.
- Loturco, I., Kobal, R., Kitamura, K., Fernandes, V., Moura, N., Siqueira, F. ... Pereira, L. A. (2017). Predictive factors of elite sprint performance: Influences of muscle mechanical properties and functional parameters. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 10, 1519.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation and physical activity*. Champaign: Human Kinetics.
- Ma, M. Y. E. (2009). *MMG sensor for muscle activity detection-low cost design, implementation and experimentation*. MS. Dissertation, Massey University.
- Moffroid, M., Whipple, R., & Hofkosh, J. A. (1969). Study of isokinetic exercise. *Phys Ther*, 49, 735-781.
- Moritani, T. (1993). Neuromuscular adaptations during the acquisition of muscle strength, power and motor tasks. *Journal of Biomechanics*, 26(1), 95-107.
- Moritani, T., & deVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*, 58(3), 115-145.
- Natsume, T., Ozaki, H., Nakagata, T., Machida, S., & NAITO, H. (2016). Acute changes in blood lactate concentration, muscle thickness, and strength after walking with blood flow restriction in older adults. *Juntendo Medical Journal*, 62(1), 237-242.
- Neamtu, M. C., Rusu, L., Neamtu, O. M., Bieru, D. E., Marin, M. I., Croitoru, I. C. ... Tarnit, D. N. (2014). Analysis of neuromuscular parameters in patients with multiple sclerosis and gait disorders. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*, 55, 1423-1428.
- Pisot, R., Kersevan, K., Djordjevic, S., Medved, V., Završnik, J., & Simunic, B. (2004). Differentiation of skeletal muscles in 9-year-old children. *Kinesiology*, 36, 90-97.
- Pisot, R., Narici, M., Simunic, B., De Boer, M., Seynnes, O., Jurdana, M., ... Mekjavić, I. (2008). Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed rest. *European Journal of Applied Physiology*, 104, 409-414.
- Rey, E., Lago-Peñas, C., Lago-Ballesteros, J., & Casáis, L. (2012). The effect of recovery strategies on contractile properties using tensiomyography and perceived muscle soreness in professional soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(11), 3081-3088.
- Richardson, R. S., Noyszewski, E. A., Leigh, J. S., & Wagner, P. D. (1998). Lactate efflux from exercising human skeletal muscle: Role of intracellular PO₂. *Journal of Applied Physiology*, 85(2), 627-634.
- Sato, Y., Yoshitomi, A., & Abe, T. (2005). Acute growth hormone response to low intensity KAATSU resistance exercise: Comparison between arm and leg. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1, 45-50.
- Sinha-Hikim, I., Artaza, J., Woodhouse, L., Gonzalez-Cadavid, N., Singh, A. B., Lee, M. I., ... Bhasin, S. (2002). Testosterone-induced increase in muscle size in healthy young men is associated with muscle fiber hypertrophy. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 283(1), 154-164.
- Slysz, J., Stultz, J., & Burr, J. F. (2015). The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(8), 669-675.
- Spreuwenberg, L. P., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R., ... Fleck, S. J. (2006). Influence of exercise order in a resistance-training exercise session. *Journal of Strength & Conditioning Research*,

- 20(1), 141-144.
- Takano, H., Morita, T., Iida, H., Asada, K. I., Kato, M., Uno, K. ... Nakajima, T. (2005). Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *European Journal of Applied Physiology*, 95(1), 65-73.
- Takarada, Y., & Ishii, N. (2002). Effects of low-intensity resistance exercise with short interest rest period on muscular function in middle-aged women. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(1), 123-128.
- Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., & Ishii, N. (2000). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of Applied Physiology*, 88, 61-65.
- Tan, B. (1999). Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: A review. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(3), 289-304.
- Tous-Fajardo, J., Moras, G., Rodríguez-Jiménez, S., Usach, R., Moreno Doutres, D., & Maffiuletti, N. (2010). Inter-rater reliability of muscle contractile property measurements using non-invasive tensiomyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 761-766.
- Valencic, V., & Knez, N. (1997). Measuring of skeletal muscles' dynamic properties. *Artificial Organs*, 21(3), 240-242.
- Vanwyke, W. R., Weatherholt, A. M., & Mikesky, A. E. (2017). Blood flow restriction training: Implementation into clinical practice. *International Journal of Exercise Science*, 10(5), 649-654.
- Yasuda, T., Abe, T., Sato, Y., Midorikawa, T., Inoue, K., Ryushi, T, ... Ishii, N. (2005). Muscle fiber cross-sectional area increased after two weeks of low-intensity "Kaatsu" resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(2), 65-70.
- Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki, M., Ozaki, H., Sato, Yoshiaki., & Abe, T. (2011). Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size. *European Journal of Applied Physiology*, 111(10), 2525-2533.

혈류제한 등속성 근력운동이 등척성 대퇴근력, 근피로 및 근수축 변위에 미치는 영향

김언호 · 이보근 · 김선헌 · 김기현 · 이광규(한국스포츠정책과학원)

【목적】 본 연구의 목적은 급성 혈류제한 유·무에 따른 등속성 근력 처치가 등척성 대퇴근력, 근피로 및 근수축 변위에 미치는 변화율을 관찰하는데 있다. **【방법】** 참가자들은 근골격계 질환이 없는 성인 남성 10명으로, 4가지 운동 그룹(① 비 혈류제한 고속 등속성 운동(300°/s) 그룹, ② 혈류제한 고속 등속성 운동(300°/s) 그룹, ③ 비 혈류제한 저속 등속성 운동(90°/s) 그룹, ④ 혈류제한 저속 등속성 운동(90°/s) 그룹)의 분류되어 처치에 따른 등척성 근력(Isometric strength), 근피로(Muscle fatigue) 및 근수축 변위(Muscle contraction displacement)의 변화율을 관찰하였다. 자료 분석은 처치 전·후의 차이를 규명하기 위해 반복이원변량분석(two-way repeated ANOVA)을 실시하였으며, 처치 간 차이를 알아보기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. **【결과】** 결과로 등척성 대퇴근력은 그룹 간 통계적 유의차가 없는 것으로 나타났다. 젖산은 4그룹에서 그룹 간 통계적 유의차($p < .05$)가 있는 것으로 나타났으며, 근수축 변위에 대한 결과는 Dm(displace maximum)의 경우 그룹 간 통계적 유의차가 나타났지만($p < .05$), Tc(contraction time)의 경우 그룹 간 통계적 유의차가 없는 것으로 나타났다. **【결론】** 이상의 결과를 종합하면, 혈류제한 훈련은 비 혈류제한 훈련과 비교하여 젖산 발현 및 근수축 변위에 효과적인 것으로 나타났으며, 엘리트 선수의 훈련 구성 시 혈류제한 훈련이 적용된다면 과훈련 예방을 위한 프로그램 구성에 효과적일 것으로 사료된다.

주요어: 혈류제한, 등속성 근력, 등척성 근력, 젖산, TMG