Sports Science 2021, 제39권, 제3호
Vol.39, No.3, (31)December 2021: 223-232 | http:////doi.org/10.46394/ISS.39.3.26 | ISSN(Online) 2093-3363

하지 혈류제한과 동일강도 사이클운동 적용방법의 차이가 등속성 근력과 유산소성 수행능력에 미치는 영향

The effect of difference in the method of same intensity application cycle exercise with blood flow restriction on isokinetic muscle strength and aerobic performance

김선혜(한국스포츠정책과학원 분석연구원) · **조인호***(한국체육대학교 교수)
SunHye Kim *Korea Institue of Sport Science* · InHo Cho* *Korea National Sport Univ*

요약

이 연구는 건강한 성인 남·여 24명을 대상으로 혈류제한과 동일한 강도의 사이클운동 적용방법의 차이가 근력과 유산소 수행능력에 미치는 영향을 분석하였다. 집단은 혈류제한 없이 동일한 운동강도를 적용한 CON60 집단(n=8), 혈류제한을 적용하여 동일한 운동강도를 적용한 BFR60 집단(n=8), 혈류제한을 적용하여 산소섭취량 및 심박수 모니터링을 통해 전체 동일강도를 유지한 Monitering-BFR60 집단(n=8)으로 분류하였으며, 최대산소섭취량의 60% 강도로 20분씩 주 2-3회, 6주간 실시하였다. 연구결과 운동 중 평균 심박수와 대사당량이 CON60, Monitering-BFR60 집단보다 BFR60 집단이 높게 나타났다(p=.041), (p=.003). 사전·사후 변화에서 근육의 비율은 BFR60 집단(p=.011), 체지방비율은 BFR60(p=.014), Monitering-BFR60(p=.036) 집단에서 유의한 차이가 나타났다. 또한, 등속성 근력은 3집단 모두 60° /sec extensor를 제외한 180° /sec, 240° /sec에서 유의한 차이가 나타났으며(p<.05), 최대산소섭취량과 환기량은 BFR60, Monitering-BFR60 집단에서 유의한 차이를 나타냈다(p<05). 또한, 운동 지속시간에서는 모든 집단에서 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 이 같은 결과로 보아 고정부하에 혈류제한을 적용하는 방법은 적용 부하보다 강도가 증가 됨에 따라 건강한 신체능력을 가진 사람에게 적합할 것이며, 전체 강도를 유지하는 모니터링 방법은 안전하게 운동을 할 수 있어 상대적으로 체력수준이 낮은 사람에게 적합할 것으로 판단된다.

Abstract

The purpose of this study was to analyze the effect of the difference in the method of same intensity application cycle exercise with blood flow restriction on isokinetic muscle strength and aerobic performance in 24 healthy men and women. The group was classified into the CON60 group (n=8) to which the same exercise intensity was applied without blood flow restriction, the BFR60 group (n=8) to which the same exercise intensity was applied with blood flow restriction, the monitoring-BFR60 group (n=8) to which maintain the same overall intensity with blood flow restriction through monitoring of VO2 and HR. The VO2max 60% exercise intensity was performed for 20 minutes 2-3 times a week for 6 weeks. The study result showed that the average HR and METs during exercise were higher in the BFR60 group than the CON60 and Monitoring-BFR60 groups (p=.041), (p=.003). In the pre-post test, the muscle ratio of weight was significantly different in the BFR60 group (p=.011), the body fat ratio was significantly different in the BFR60 group (p=.014), and the Monitoring-BFR60 group (p=.036). Also, isokinetic muscle strength showed a significant difference at 180° /sec and 240° /sec except for the 60° /sec extensor in all 3 groups (p<.05). VO2max and VE amount showed a significant difference in BFR60 and Monitoring-BFR60 groups(p<.05), and there was a significant difference in all groups in exercise duration(p<.05). In conclusion, the general blood flow restriction method will suit people with healthy physical abilities as the intensity increases compared to the applied load, the monitoring method to maintain the set intensity will suit people with relatively low physical strength because they can exercise safely.

Key words : blood flow restriction training, knee isokinetic muscle strength, aerobic performance

이 논문은 2021년도 한국체육대학교 김선혜의 석사학위 논문을 수정·보완하여 작성하였음.

* judo69@knsu.ac.kr

Ⅰ. 서론

혈류제한이란 BFR(Blood Flow Restriction) 압력 벨트를 이용하여 상완부, 대퇴 부위 또는 서혜부 부근과 종아리 부위에 착용한 후 압력을 통해 사지의 혈류 흐름을 제한하는 것을 말한다(김규승 외 2011; Loenneke et al., 2012; Sato et al., 2005; Slysz et al., 2016;). 최근 혈류제한 장비들은 자동 압력조절이 가능하며 동맥혈의 흐름은 유지하면서 정맥혈의 흐름을 줄이고, 압력 모니터링을 통해 개인에 맞는 압력조절을 할 수 있다(Samaranada et al., 2021).

이 같은 혈류제한 장비를 이용하여 운동을 실시하게 되면 가압으로 인해 근육 내 혈액의 저류 현상이 발생되고, 운동 중 체내 국소적인 저산소 환경이 만들어진다. 이로 인해 젖산의 축적과 대사적 스트레스를 받게 되고, 이후 감압을 통해 고산소화 환경을 만들어지면서 궁극적으로는 근신경계의 발달, 근비대 및 근력 향상과 내분비계의 활성화, 성장호르몬 등 다양한 생리학적 변화를 나타나게 된다(Liu et al., 2021; Ogawa et al., 2021). 이에 따라 다수의 연구에서는 단시간 저강도 운동을 실시하였을 때 고강도 운동과 유사한 효과를 보고하고 있다(Kumagai et al., 2012; Mouser et al., 2017; Silva et al., 2021).

현재까지 혈류제한을 적용한 저항성운동, 인터벌운동, 유산소운동 등 다양한 운동형태의 연구들이 보고되고 있으며, 초기 저항성 운동이 주로 연구되었다면 그 이후에는 혈류제한을 적용한 유산소 운동에서 많은 연구들이 진행되고 있다(Abe et al., 2010a; kim et al., 2016; Ursprung, 2016; Esparza, 2017; Bennett & Slattery, 2019; Karabulut, et al., 2020).

혈류제한을 적용한 유산소운동 중 특히, 사이클운동 연구들의 주요 효과들을 보면 하지 근육의 단면적이 약 3-5% 증가하였으며 등척성 근력이 약 7%, 최대산소섭취량이 약 6%, 탈진 때까지의 운동 지속시간이 약 15% 이상 증가를 보고하고 있다(Abe et al., 2010b; Esparza, 2017; Ursprung 2016; Yasuda et al., 2005). 이 같은 결과는 사이클운동의 장점인 근력과 유산소 능력에 향상, 두 가지 효과를 좀 더 극대화할 수 있을 것이라 예상된다.

한편 운동 시 혈류제한을 적용할 경우 설정된 강도에서 혈류제한을 하게 됨으로써 추가적인 강도증가로 인해 실질적인 전체 강도가 변화하게 된다. 이에 대해 Mouser 등(2017)의 연구에서는 사이클운동 시 혈류제한 유·무를 비교한 결과 산소섭취량이 약 10%의 차이를 나타내었다. 이와 같은 결과는 강도증가에 따라 설정된 강도보다 높은 효과를 나타나게 되는데, Yasuda 등(2008)의 연구에서는 혈류제한과 1RM의 20%에 해당하는 저강도 저항성운동은 궁극적으로 1RM의 60-70% 가까운 훈련 효과를 보고하였다. 그러나 이러한 혈류제한을 적용한 운동들은 강도증가에 따라 최종적으로 적용된 강도를 예측하거나 또는 조절이 어려워지는 문제가 발생하게 된다 (Junior et al., 2019; Mouser et al., 2017; Neto et al., 2014). 그러므로 대부분의 혈류제한을 적용한 운동의 연구결과들은 과대 또는 과소평가 될 수 있음을 시사한다. 이같이 혈류제한 운동 시 실제 적용된 강도와 적용방법의 대한 선행연구들이 전무한 실정이며 다양한 연구들이 필요할 것으로 생각된다.

따라서 이에 일반적인 유산소운동에서 활용하고 있는 심박수 모니터링을 적용하여, 기존 혈류제한을 적용한 운동 시 강도 예측의 어려움을 보완할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 6주간 혈류제한 유·무 및 동일한 강도의 사이클 운동의 적용방법에 따라 실제 운동강도의 차이와 하지의 등속성근력과 유산소성 수행능력에 미치는 영향을 파악하여 혈류제한 운동프로그램 활용에 목적이 있다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상

이 연구는 스포츠 관련 공공기관 및 스포츠센터 등에서 건강한 만 20-35세의 성인 남·여 24명을 대상으로 하였다, 연구 동의서에 자발적 동의한 자를 선정하였으며, 제외기준은 아래와 같다.

- ·근·골격계 질환이 있는 자
- ·대사성 질환, 당뇨, 고혈압, 고도비만 등의 대상자
- ·연구에 영향을 미치는 질환을 가지고 있거나 이로 인해 약물을 복용하고 있는 자

각 집단은 무작위로 선정하였으며, 혈류제한을 하지 않고 최대산소섭취량의 60% 해당하는 운동강도를 적용한 CON60 집단(n=8), 혈류제한과 함께 최대산소섭취량의 60% 해당하는 운동강도를 적용한 BFR60 집단(n=8), 혈류제한과 함께 호흡가스 모니터링을 통해 최대산소섭취량의 60% 해당하는 강도의 산소섭취량, 심박수를 유지하여 실시한 monitering-BFR60 집단(n=8)으로 분류하였다. 집단별 대상자의 신체적 특성은 다음 <표 1>과 같다.

표 1. 대상자의 신체적 특성

Subject	n	Age (yr)	SD	Height (cm)	SD	Weight (kg)	SD	SMM (%)	SD	BF (%)	SD	VO_2max (ml/kg/min)	SD	Rest BP (mmHg) SP	SD	DP	SD
CON60	8	31.6	2.8	168	8.7	72.2	11.5	40.6	3.7	27.6	5.6	33.5	2.7	116.7	8.2	81.9	9.1
BFR60	8	30.3	3.3	170	8.1	73.1	11.3	40.6	3.4	27.1	5.6	34.5	2.4	112	10.4	73.2	8.4
M_BFR60	8	29.6	4.4	168.3	9.7	68.1	13.2	36.9	2.9	23.8	33.7	35.3	2.2	114.2	10.9	75	8.4

2. 연구내용 및 절차

본 연구의 목적은 혈류제한 유·무 및 동일한 사이클운동 적용의 방법적 차이가 집단 간 운동강도, 체성분, 하지 근력과 유산소성 능력에 미치는 영향을 알아보기 위함이다. 측정 변인은 운동 중 평균 심박수, 대사당량, 운동부하량(watt), 젖산, 산소섭취량이며, 사전, 사후 변화는 체성분, 무릎의 등속성 근력, 유산소 수행능력을 측정하였다. 본 연구는 한국체육대학교 윤리위원회(IRB: 20200612-067)의 승인을 받아 진행하였으며 연구 절차는 다음<표 2>과 같다.

표 2. 연구 설계

사전·사후검사			
신체조성:	- 신장, 체중, 근육비율, 체지방비율		
무릎등속성근력:	- 60°/sec(3회), 180°/sec(3회), 240°/sec(26회)		
운동부하검사:	- 최대산소섭취량, 환기량, 지속시간		
집단별 처치			
강도:	VO2max의 60% 강도(watt)		
기간:	주 2-3회, 6주		
집단:	CON60(n=8)	BFR60(n=8)	M_BFR60(n=8)
	혈류제한×	혈류제한○	
처치:	고정부하(watt)		산소섭취량, 심박수 모니터링 전체 강도 유지
운동시간:	웜업 5분	사이클 운동 20분	
속도:	자유로운 페달링	80rpm	
가압:	200mmHg		
운동 중 검사			
심박수, 대사당량(METs), 산소섭취량, 젖산			

1) 신체구성 측정

본 연구대상의 체성분 분석은 인바디(InBody, 770)장비를 이용하였으며, 측정 시 오류를 최소화하기 위해 신체에 모든 금속류를 제거한 후 간편한 복장으로 기기 위에 올라 전극 손잡이를 잡고, 양팔 겨드랑이가 몸에서 떨어지도록 벌린 후 측정하였다. 측정 항목은 체중(kg), 근육비율(%), 체지방비율(%)이다.

2) 등속성 근관절 기능검사

무릎의 등속성 근력은 등속성 근관절 기능검사 시스템(Humac Norm, CSMI)의 Isokinetic 모드를 이용하여 측정하였다. 피험자는 충분히 준비운동을 실시한 후 측정 의자에 앉아 무릎관절과 회전축이 일치하도록 테이블과 등받이를 이용하여 조정한다. 이후 다른 신체부위가 움직이지 않도록 대퇴 부위와 가슴부위를 고정 하였으며, 측정 전 충분한 적응을 위해 예비 테스트를 실시한 후, 최대근력을 발휘하도록 유도하였다. 측정 간 휴식시간은 1분 이내로 진행하였으며, 세부 검사 항목 중 근력은 각속도 60° /sec, 3회, 피크토크의 상대근력(%BW)을, 근파워에서는 각속도 180° /sec, 3회, 평균파워의 상대근력(%BW)을 측정하였으며, 근지구력에서는 총 운동량이 근지구력의 척도로 적합하다는 Holmes & Alderink(1984), Perrine(1994)의 연구에 근거하여 각속도 240° /sec, 26회, 총 일량의 상대근력(%BW)으로 산출하였다.

3) 운동부하검사

최대운동부하검사(GXT)는 호흡가스분석기(Quart CPET, COSMED)와 고정식 사이클 에르고미터(Excalibur, Lode)를 이용하였다. 호흡가스 분석 전 대상자에게 주의사항을 자세히 설명하였으며, 공복상태에서 가벼운 옷차림을 한 후 가스 마스크와 심박수 센서를 착용한 후 실시하였다. 프로토콜은 Abe 등(2010a)이 제시한 프로토콜을 적용하여, 점증적 운동부하로 초기부하는 50w이며 1분마다 15w씩 증가시켰고, 200w까지 도달하게 되면 1분에 10w씩 증가하도록 설정하였다. 운동 종료 및 중단 기준은 50rpm을 유지할 수 없는 탈진까지를 기준으로 하였으며, 호흡교환율(RER)이 1.15보다 높을 경우, 운동 강도는 증가함에도 심박수 및 산소섭취량이 고원상태인 경우, 운동 자각도(RPE Borg scale) 수준이 19 이상 관찰되었을 경우 검사를 종료하였으며, 최대산소섭취량(VO_2max), 환기량(VE), 탈진할 때까지의 운동 지속시간을 산출하였다.

4) 혈류조절가압기

압력을 조절할 수 있는 공압식 커브와 실시간 모니터링이 가능한 혈류조절가압기(KAATSU)를 사용하였으며, 선행 연구(Abe et al., 2010a; Abe et al., 2010b; Esparza, 2017; 김규승 외 2016)들을 바탕으로 효과가 있는 압력 범위 160-220mmHg에서 중간값인 200mmHg으로 설정하였다. 혈류제한 압력 벨트는 양측 대퇴의 근위부 및 서혜부와 가까운 곳에 착용하였으며, 혈류제한을 시작하는 동안 통증 유·무를 확인하고, 무릎 안쪽 모세혈관의 회복시간을 확인하기 위해 대상자의 무릎 안쪽을 손가락으로 눌렀다 뗀 후 2-3초 관찰 후 진행하였다. 혈류제한 적응을 위해 5분간 가벼운 페달링을 통한 웜업을 진행하였으며, 운동이 종료될때까지 200mmHg을 유지하였다.

3. 자료처리 및 평가방법

이 연구에서는 수집된 자료는 SPSS 23.0 통계프로그램을 이용하여 집단 간 운동 중 강도의 차이를 검증하기 위해 일원 분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였으며, 진단과 처치 기간에 상호작용 효과를 검정하기 위해 이원분산분석(Two-way repeated measured ANOVA)을 실시하였다. 시기 간의 차이는 paired t-test를 이용하여 사후 검증하였으며 모든 분석의 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 집단별 운동 강도 차이

운동 중 집단 간 운동강도 차이가 나타나는지 알아보기 위해 다음 <표 3>과 같은 변인들을 분석하였다.

표 3. 운동 중 변인들의 평균 차이(One-way ANOVA)

Variables	Group	n	M	SD	F	*p*	*post-hoc*
심박수 (bpm)	CON60(a)	8	141.6	5			
	BFR60(b)	8	146.3	11.5	3.739	.041*	b>c
	M_BFR60(c)	8	135.6	5			
대사당량 (METs)	CON60(a)	8	6.6	0.3			
	BFR60(b)	8	7.6	0.7	7.608	.003**	a, c<b
	M_BFR60(c)	8	6.6	0.6			
산소섭취량 (ml/min/kg)	CON60(a)	8	19.2	3			
	BFR60(b)	8	23.1	4.3	2.141	.142	
	M_BFR60(c)	8	21.1	3.6			
부하량 (watt)	CON60(a)	8	81	20.4			
	BFR60(b)	8	82.3	24.4	.078	.925	
	M_BFR60(c)	8	77.8	24.5			
젖산 (mmol/L)	CON60(a)	8	3.1	1.5			
	BFR60(b)	8	4.1	1.2	1.265	.303	
	M_BFR60(c)	8	3.4	1.2			

* p<.05, * * p<.01, * * * p<.001

1) 운동 중 평균 심박수

6주 운동 중 집단 간 평균 심박수에서 유의한 차이(p=.041)를 나타냈으며, Monitering_BFR60 집단(135.6±5)보다 BFR60 집단(146.3±11.5)이 높게 나타났다.

2) 운동 중 평균 대사당량(METs)

6주 운동 동안 집단 간 평균 대사당량(METs)에서 유의한 차이(p=.003)를 나타냈으며, CON60 집단(6.6±0.3)과 Monitering_BFR60 집단(6.6±0.6)보다 BFR60 집단(7.6±0.7)이 높게 나타났다.

그 외 운동 중 평균 산소섭취량(p=.142), 운동부하량(p=.925), 젖산(p=.303)을 분석한 결과 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2. 체성분의 변화

6주 운동 후 체성분의 변화를 알아보기 위해 다음<표 4>, <표 5>와 같이 분석하였다.

표 4. 체성분의 변화(Two-way ANOVA)

Variables	Group	n	pre	SD	post	SD		F	*p*
체중대비 근육비율 (%)	CON60	8	40.7	4.1	40.9	4.2	T	14.702	.001 * * *
	BFR60	8	40.8	3.2	41.9	3.3	G	.072	.931
	M_BFR60	8	41.2	4.3	41.8	4.2	T×G	1.682	.210
체지방률 (%)	CON60	8	27.2	6.6	26.8	6.7	T	16.702	.001 * * *
	BFR60	8	26.7	4.6	24.9	5.2	G	.133	.876
	M_BFR60	8	26.1	6.4	25.3	6.4	T×G	2.276	.127

* p<.05, * * p<.01, * * * p<.001

표 5. 체성분의 변화(T-test)

Variables	Group	n	t	*p*
체중대비 근육비율(%)	CON60	8	-1.069	.321
	BFR60	8	-3.432	.011 *
	M_BFR60	8	-2.010	.084
체지방률(%)	CON60	8	1.007	.347
	BFR60	8	3.253	.014 *
	M_BFR60	8	2.585	.036 *

* p<.05, * * p<.01, * * * p<.001

1) 근육비율

체중대비 근율비율을 분석한 결과 상호작용(p=.210) 및 집단 간(p=.931) 유의한 효과는 나타나지 않았으나, 시기 간 유의한 차이(p=.001)가 나타났으며, BFR60 집단에서 사전(40.8±3.2)보다 6주 운동 후(41.96±3.3) 유의하게 증가하였다(p=.011).

2) 체지방률

체지방률을 분석한 결과 상호작용(p=.127) 및 집단 간(p=.876) 유의한 차이는 나타나지 않았으나, 시기 간 유의한 차이(p=.001)가 나타났으며, BFR60 집단에서 사전(26.7±4.6), 6주 운동 후(24.9±5.2), Monitering_BFR60 집단에서 사전(26.1±6.4), 6주 운동 후(25.3±6.4) 유의하게 감소하였다(p=.014), (p=.036).

3. 무릎 등속성근력의 변화

6주 운동 후 무릎의 등속성근력(근력, 근파워, 근지구력)의 변화를 알아보기 위해 다음<표 6>, <표 7>과 같이 분석하였다.

표 6. 등속성 근력의 변화(Two-way ANOVA)

Variables		Group	n	pre	SD	post	SD		F	p
60°/sec (PT)	Extensor (%BW)	CON60	8	217.1	70	226.5	40.8	T	4.484	.056
		BFR60	8	212.1	41.9	222	41.2	G	.048	.954
		M_BFR60	8	209.6	45.9	238	44.9	T×G	.695	.510
	Flexor (%BW)	CON60	8	107.4	18.6	113.4	25.5	T	35.720	.000***
		BFR60	8	113.4	25.5	122	27.2	G	.022	.979
		M_BFR60	8	124.8	32.6	152.4	33.5	T×G	2.733	.088
180°/sec (AP)	Extensor ((%BW)	CON60	8	301.5	59.8	320.5	52.9	T	11.657	.003**
		BFR60	8	307.6	63	324.4	67.5	G	.014	.986
		M_BFR60	8	290.5	78.4	328.8	67.5	T×G	1.226	.314
	Flexor (%BW)	CON60	8	174.3	39.8	217.4	59.5	T	28.408	.000***
		BFR60	8	176.4	34	202.1	46.1	G	1.293	.295
		M_BFR60	8	204.7	72.6	250.3	49.6	T×G	.615	.550
240°/sec (TW)	Extensor (%BW)	CON60	8	3539.5	812	3539.5	749	T	12.003	.002**
		BFR60	8	3434.6	752.5	3812	717.2	G	562.103	.402
		M_BFR60	8	4065.4	1165.3	4111.5	1097.3	T×G	5.147	.015*
	Flexor (%BW)	CON60	8	1755.5	460.1	1963	409.4	T	26.488	.000***
		BFR60	8	2478	557.7	2818.1	721.3	G	5.323	.013**
		M_BFR60	8	1994.3	420	2214.8	414.4	T×G	.720	.498

* p<.05, ** p<.01, *** p<.001

1) 60°/sec 근력

6주 운동 후 무릎의 등속성근력 각속도 60° /sec의 extensor 값을 분석한 결과 상호작용(p=.510) 및 집단 간(p=.954), 시기 간(p=.056) 유의한 차이는 나타나지 않았다.

각속도 60° /sec의 flexor 값을 분석한 결과 상호작용(p=.088) 및 집단 간(p=.979), 유의한 차이는 나타나지 않았으나, 시기 간 유의한 차이가 났으며(p=.000), BFR60 집단이 사전(113.4±25.5), 6주 운동 후(122±27.2), Monitering_BFR60 집단에서 사전(124.8±32.6), 6주 운동 후(152.4±33.5) 근력이 유의하게 증가하였다(p=.000), (p=.020).

표 7. 등속성 근력의 변화(T-test)

Variables		Group	n	t	p
60°/ sec (PT)	Extensor (%BW)	CON60	8	-.531	.612
		BFR60	8	-1.593	.155
		M_BFR60	8	-2.272	.057
	Flexor (%BW)	CON60	8	-.248	.811
		BFR60	8	-3.294	.013*
		M_BFR60	8	-2.986	.020*
180°/ sec (AP)	Extensor (%BW)	CON60	8	-3.637	.008**
		BFR60	8	-2.924	.022*
		M_BFR60	8	-3.962	.005**
	Flexor (%BW)	CON60	8	-4.594	.003**
		BFR60	8	-3.367	.012*
		M_BFR60	8	-2.792	.027*
240°/ sec (TP)	Extensor (%BW)	CON60	8	-1.495	.178
		BFR60	8	-2.965	.021*
		M_BFR60	8	-1.075	.318
	Flexor (%BW)	CON60	8	-4.474	.003**
		BFR60	8	-2.414	.047*
		M_BFR60	8	-13.493	.000***

* p<.05, ** p<.01, *** p<.001

2) 180°/sec 근파워

각속도 180° /sec의 extensor 값을 분석한 결과 상호작용(p=.314) 및 집단 간(p=.986) 유의한 효과는 나타나지 않았으나, 시기 간 유의한 차이가 나타났으며(p=.003), CON60 집단이 사전(301.5±59.8), 6주 운동 후(320.5±52.9), BFR60 집단에서 사전(307.6±63), 6주 운동 후(324.4±67.5), Monitering_BFR60 집단에서 사전(290.5±78.4) 운동 후(328.8±67.5) 등속성 근파워가 유의하게 증가하였다(p=.008), (p=.022), (p=.005).

flexor 값을 분석한 결과 상호작용(p=.550) 및 집단 간(p=.295) 유의한 효과는 나타나지 않았으나, 시기 간 유의한 차이가 났으며(p=.000), CON60 집단이 사전(174.3±39.8), 6주 운동 후(217.4±59.5), BFR60 집단에서 사전(176.4±34), 6주 운동 후(202.1±46.1), Monitering_BFR60집단에서 사전(204.7±72.6) 운동 후(250.3±49.6) 등속성 근파워가 유의하게 증가하였다(p=.003), (p=.012), (p=.027).

3) 240°/sec 근지구력

각속도 240° /sec의 extensor 값을 분석한 결과 집단 간(p=.402) 유의한 효과는 나타나지 않았으나, 상호작용(p=.015)과 시기 간(p=.002) 유의한 효과가 나타났다. Monitering_BFR60 집단에서 사전(4065±1165.3) 운동 후(4111.5±1097.3) 등속성 근지구력이 유의하게 증가하였다(p=.021).

각속도 240° /sec의 flexor 값을 분석한 결과 상호작용(p=.498)은 나타나지 않았으나 집단 간(p=.013), 시기 간(p=.000) 유의한 차이가 나타났다. CON60 집단에서 사전(1755.5±460.1) 운동 후(1963±409.4), BFR60 집단에서 사전(2478±557.7) 운동 후(2818.1±721.3), Monitering

_BFR60 집단에서 사전(1994.3±420) 운동 후(2214.8±414.4) 등속성 근지구력이 유의하게 증가하였다(p=.003), (p=.047), (p=.000). 또한 집단 간 차이에서 CON60, Monitering_BFR60 집단보다 BFR60 집단이 근지구력이 높게 증가하였다(p=.013).

4. 유산소 능력의 변화

6주 운동 후 운동부하검사를 통한 유산소 능력의 변화를 알아보기 위해 다음<표 8>, <표 9>과 같이 분석하였다.

표 8. 유산소성 수행능력의 변화(Two-way ANOVA)

Variables	Group	n	pre	SD	post	SD		F	p
최대산소 섭취량 (ml/min/kg)	CON60	8	32	4.9	31.6	4.9	T	7.754	.011 *
	BFR60	8	34.1	6.9	37	5.3	G	1.485	.249
	M_BFR60	8	35.3	6.1	37.4	6.2	T×G	3.141	.064
환기량 (l/min)	CON60	8	111.9	28	116	21	T	71.166	.000 * * *
	BFR60	8	101.1	26.8	123.9	22.9	G	.157	.856
	M_BFR60	8	102.1	27.1	112.3	27.4	T×G	14.095	.000 * * *
운동 지속시간 (mm:ss)	CON60	8	11:47	2:03	12:25	2:31	T	85.914	.000 * * *
	BFR60	8	11:53	2:14	14:41	2:26	G	.553	.583
	M_BFR60	8	12:59	3:46	13:54	3:30	T×G	18.702	.000 * * *

* p<.05, * * p<.01, * * * p<.001

표 9. 유산소성 수행능력의 변화(T-test)

Variables	Group	n	t	p
최대산소 섭취량 (ml/min/kg)	CON60	8	.303	.771
	BFR60	8	-3.194	.015 *
	M_BFR60	8	-3.660	.008 * *
환기량 (l/min)	CON60	8	-1.353	.218
	BFR60	8	-10.332	.000 * * *
	M_BFR60	8	-4.489	.003 * *
운동 지속시간 (mm:ss)	CON60	8	-2.682	.031 *
	BFR60	8	-10.495	.000 * * *
	M_BFR60	8	-3.015	.020 *

* p<.05, * * p<.01, * * * p<.001

1) 최대산소섭취량

최대산소섭취량을 분석한 결과 상호작용(p=.064) 및 집단 간 (p=.249) 유의한 효과는 나타나지 않았으나, 시기 간 유의한 차이 (p=.001)가 나타났으며, BFR60 집단에서 사전(34.1±6.9), 6주 운동 후(37±5.3), Monitering_BFR60 집단에서 사전(35.3±6.1) 운동 후 (37.4±6.2) 유의하게 증가하였다(p=.015), (p=.008).

2) 환기량

환기량을 분석한 결과 집단 간(p=.856) 유의한 효과는 나타나지 않았으나, 상호작용(p=.000), 시기 간 유의한 차이(p=.000)가 나타났으며, BFR60 집단에서 사전(101.1±26.8), 6주 운동 후(123.9±22.9), Monitering_BFR60 집단에서 사전(102.1±27.1) 운동 후(112.3±27.4) 유의하게 증가하였다(p=.000), (p=.003).

3) 지속시간

지속시간을 분석한 결과 집단 간(p=.583) 유의한 효과는 나타나지 않았으나, 상호작용(p=.000), 시기 간 유의한 차이(p=.000)가 나타났다. CON60 집단에서 사전(11:47±2:03) 운동 후(12:25±2:31), BFR60 집단에서 사전(11:53±2:14), 6주 운동 후(14:41±2:26), Monitering_BFR60 집단에서 사전(12:59±3:46) 운동 후(13:54±3:30) 유의하게 증가하였다(p=.031), (p=.000), (p=.020).

Ⅳ. 논의

본 연구는 혈류제한 유·무 및 동일한 사이클운동 적용의 방법적 차이가 운동강도, 체성분, 하지근력, 유산소능력에 미치는 영향을 분석하였으며, 결과는 다음과 같다.

이 연구의 주요한 결과는 운동 중 평균 심박수와 대사당량이 두 집단보다 주어진 운동강도에서 혈류제한을 적용한 BFR60 집단에서 높게 나타났다. 또한, 시기 간 차이에서 6주 운동 후 BFR60 집단에서 근육량이 증가하였으며, 세 집단 모두에서는 등속성 근력과 유산소성 수행능력의 지속시간이 증가하였다. 혈류제한을 한 BFR60, Monitering_BFR60 두 집단에서는 체지방 감소 및 최대산소섭취량과 환기량이 증가하였다.

일반적으로 혈류제한을 적용한 운동은 주어진 운동강도에서 혈류제한이 추가됨으로 강도증가를 일으키게 되는데, 이는 신체 사지 내 정맥혈의 울혈로 인한 1회 박출량의 감소와 저산소 환경에 따른 대사적 스트레스가 심박수 및 대사당량의 증가시키는 원인으로 보고하고 있다(Bennett & Slattery 2019; Junior et al., 2019; Mouser et al., 2017). 이에 따라 본 연구의 결과, 주어진 강도에서 혈류제한을 한 BFR60 집단에서 심박수 및 대사당량이 가장 높게 나타났으며, 이는 선행연구들과 동일한 결과를 나타내었다. 또한, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나 운동 중 산소섭취량에서 혈류제한을 하지 않은 CON60 집단보다 BFR60 집단에서 약 4 ml/min/kg 차이가 나타났다. 이로 보아 혈류제한이 저산소 환경의 극대화로 산소섭취량이 증가한다는 선행연구들(Mendonca et al., 2014; Ozaki et al., 2010; Silva et al., 2021)과 유사한 면을 나타냈다. 결과적으로 BFR60 집단에서 6주 운동 후 다수의 변인에서 가장 많은 유의한 차이를 나타낸 것은 강도증가로 인한 것으로 예상된다.

한편 혈류제한을 한 운동의 효과로는 근력증가 및 체지방의 감소가 있는데, 이는 근육 내 무산소성 대사산물 축적과 가압 이후 감압을 통해 고산소화를 통한 성장호르몬, IGF-1의 증가로 단백질 합성에 관여하게 되며, 모세혈관생성 호르몬의 증가 및 근신경 강화를 통해 이루어진다(Esparza 2017; Ursprung 2016; Liu et al.,

2021). 이처럼 본 연구에서 주어진 강도에서 혈류제한을 한 BFR60 집단과 전체 강도를 일정하게 유지한 Monitering_BFR60 집단에서 등속성 근력(근력, 근파워, 근지근력)의 증가 및 체지방의 감소를 나타내었다. 그러나 혈류제한을 하지 않은 CON60 집단에서도 등속성 근력 향상이 나타났는데, 이는 일반적으로 중간도 사이클운동 시 향상되는 근력의 효과와 혈류제한을 적용한 효과의 크기 차이를 규명하기 힘든 결과를 나타냈다. 따라서 추후 면밀한 효과크기의 검증 연구가 필요할 것이다.

유산소성 능력에 대해 살펴보면 혈류제한을 적용한 유산소운동은 구체적인 메커니즘이 밝혀지지 않았으나 일부 연구(Abe & Sato 2006; Clarkson et al., 2017; Bennett & Slattery 2019)에서는 혈류제한에 따른 심장에 기계적 스트레스의 증가가 심혈관계의 적응을 일으켜 최대산소섭취량과 운동 지속시간의 향상을 보고하고 있다. 이같이 선행연구와 유사하게 혈류제한을 한 BFR60, Monitering_BFR60 두 집단에서 최대산소섭취량과 환기량의 시기 간 유의한 차이가 나타났으며, 지속시간에서는 세 집단 모두 유의한 차이를 나타냈다. 이 결과는 혈류제한을 적용한 BFR60, Monitering_BFR60 두 집단에서 유산소성 신체능력과 수행능력 두 가지가 동시에 향상되었으며, 혈류제한을 적용한 유산소운동은 심폐능력 향상에 유용한 수단이라고 Bennett (2019)의 연구와 동일한 결과를 도출하였다.

현재까지 혈류제한을 적용한 운동들의 다양한 효과들을 바탕으로 보디빌더, 운동선수, 노인, 재활운동 등 여러 집단에서 사용되고 있으며(Karabulut et al., 2010; Iida et al., 2005), 저강도에서 효과를 얻을 수 있는 장점으로 일반인들에게도 관심이 높아지고 있다(Loenneke et al., 2010). 그러나 혈류제한 운동은 물리적 가압을 주게 되므로 주의가 필요하게 되는데 Patterson 등(2019)은 혈류제한을 적용하여 운동을 하는 동안 심장에 가해지는 기계적 스트레스로 인해 산소섭취량과 심박수가 과도하게 증가할 경우 혈류제한 적용중단을 제시하고 있다. 또한, 커프의 마찰과 압박으로 인해 피하출혈, 저림 현상, 빈혈, 지연성 근통증, 불편감 등을 줄 수 있으며, 신체 상태와 적응력에 따른 주의가 필요하다(Nakajima et al., 2010; Patterson et al., 2019). 특히 중강도의 운동과 함께할 경우 강도증가에 따른 중강도 이상의 운동 효과를 기대할 수 있으나 개인의 신체 상태와 여러 질병으로 인해 나타나는 위험의 변수가 있는지 확인하여야 한다(Brandner et al., 2015).

이에 대한 대안으로 산소섭취량과 심박수 모니터링 방법을 적용하여 전체 운동강도를 유지한 Monitering_BFR60 집단의 변화를 살펴보면 설정된 강도에서 혈류제한을 적용한 BFR60 집단보다 심박수 및 대사당량이 증가하지 않았으며, 동일강도에서 혈류제한을 하지 않은 CON60 집단보다 다수의 변인에서 시기 간 신체적 효과를 나타냈다. 이를 통해 일반적으로 유산소운동 시 실시하는 심박수 모니터링 방법은 혈류제한 시 강도를 유지하고 조절하여 운동할 수 있을 것이다.

최근 스마트 워치 등 웨어러블 장비들이 많이 보급되고 있으며 (이재광 외 2016) 이를 이용하여 혈류제한 운동을 시 심박수 모니터링을 한다면 좀 더 안전하게 운동을 진행할 수 있을 것이며, 더 나아가 상대적으로 체력수준이 낮은 질환자, 노인 등 강도설정 및 증가에 주의해야 하는 사람에게 효과적인 방법이 될 것으로 예상된다. 결론적으로 혈류제한을 적용한 운동은 각 개인의 체력상태와 적응능력, 질병 유·무 등에 따라 강도 적용방법을 달리해야 하며, 혈류제한적용의 일반적인 방법은 강도증가에 따른 주의가 필요하므로 건강한 신체 및 체력상태를 가진자에게 적합할 것이다. 또한, 설정된 강도를 유지하며 진행하는 모니터링 방법은 상대적으로 신체 체력수준이 낮은 사람에게 적합할 것으로 판단된다.

Ⅴ. 결론 및 제언

이 연구는 6주간 혈류제한 사이클 운동 시 동일강도 적용의 방법적 차이에 따른 집단 간 운동강도, 무릎의 등속성근력과 유산소성 능력의 미치는 영향을 비교하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

혈류제한과 함께 최대산소섭취량의 60% 중강도 유산소 운동 시 일반적인 혈류제한 방법과 모니터링을 통해 설정된 운동강도를 유지하는 방법은 공통적으로 체지방의 감소, 하지의 등속성 근력 및 유산소성 신체능력과 수행능력의 향상을 나타냈다. 일반적으로 설정된 운동강도에 혈류제한을 적용하는 방법은 많은 운동 효과를 나타냈으나 강도증가의 따른 주의가 필요하다. 반면 모니터링을 통해 설정 강도를 유지하여 혈류제한을 적용하는 방법은 강도증가 없이 안전하게 운동할 수 있으므로 상대적으로 신체 체력수준이 낮은 사람에게 적합할 것으로 판단된다.

이 연구를 수행하며 제한점을 토대로 후속연구를 위한 제언은 다음과 같다. 모든 집단의 등속성 근력 및 유산소 수행 능력의 증가를 나타내었으며 이는 중강도 사이클운동과 혈류제한 사이에 효과의 크기의 차이를 알 수 없으므로 추후 명확한 세부연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

김규승, 박승한, 허용, & 박미령. (2011). 혈류제한 저항성 운동 관련 연구동향 및 현장적용 가능성 탐색. **한국체육과학회지, 20**(5), 1047-1065.

이재광, 강지호, 김한별, 안이슬, 오미진, & 조현. (2016). 웨어러블 디바이스의 채택 의도에 영향을 미치는 요인: 스마트 워치를 중심으로. **인터넷전자상거래연구, 16**(1), 195-213.

Abe, T., Fujita, S., Nakajima, T., Sakamaki, M., Ozaki, H., Ogasawara, R., & Sato, Y. (2010a). Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO2max in young men. *Journal of Sports Science & Medicine, 9*(3), 452.

Abe, T., Kearns, C. F., & Sato, Y. (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous

blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *Journal of Applied Physiology, 100*(5), 1460-1466.

Abe, T., Sakamaki, M., Fujita, S., Ozaki, H., Sugaya, M., Sato, Y., & Nakajima, T. (2010b). Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. J*ournal of Geriatric Physical Therapy, 33*(1), 34-40.

Bennett, H., & Slattery, F. (2019). Effects of blood flow restriction training on aerobic capacity and performance: a systematic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 33*(2), 572-583.

Brandner, C. R., & Warmington, S. A. (2017). Delayed onset muscle soreness and perceived exertion after blood flow restriction exercise. T*he Journal of Strength & Conditioning Research, 31*(11), 3101-3108.

Clarkson, M. J., Conway, L., & Warmington, S. A. (2017). Blood flow restriction walking and physical function in older adults: a randomized control trial. *Journal of Science and Medicine in Sport, 20*(12), 1041-1046.

Esparza, BN. (2017). *The effects of a short-term endurance training program with blood flow restriction cuffs versus ACSM recommended endurance training on arterial compliance and muscular adaptations in recreationally active males.* Brownsville, Texas: The University of Texas Rio Grande Valley, pp. 19-75.

Holmes, J. R. and Alderink, G. J., (1984) Isokinetic strength characteristics of the quadriceps femoris and hamstring muscles in high school students, *Physical Therapy 64* 914-918

Iida, H., Takano, H., Meguro, K., Asada, K., Oonuma, H., Morita, T., & Nagata, T. (2005). Hemodynamic and autonomic nervous responses to the restriction of femoral blood flow by KAATSU. *International Journal of KAATSU Training Research, 1*(2), 57-64.

Junior, A. F., Schamne, J. C., Perandini, L. A. B., Chimin, P., & Okuno, N. M. (2019). Effects of walking training with restricted blood flow on HR and HRV kinetics and HRV recovery. *International Journal of Sports Medicine, 40*(09), 585-591.

Karabulut, M., Esparza, B., Dowllah, I. M., & Karabulut, U. (2020). The impact of low-intensity blood flow restriction endurance training on aerobic capacity, hemodynamics, and arterial stiffness. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.*

Kim, D., Singh, H., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Fahs, C. A., Rossow, L. M., ... & Bemben, M. G. (2016). Comparative effects of vigorous-intensity and low-intensity blood flow restricted cycle training and detraining on muscle mass, strength, and aerobic capacity. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 30*(5), 1453-1461.

Kumagai, K., Kurobe, K., Zhong, H., Loenneke, J., Thiebaud, R., Ogita, F., & Abe, T. (2012). Cardiovascular drift during low intensity exercise with leg blood flow restriction. *Acta Physiologica Hungarica, 99*(4), 392-399.

Liu, Y., Jiang, N., Pang, F., & Chen, T. (2021). Resistance Training with Blood Flow Restriction on Vascular Function: A Meta-analysis. *International Journal of Sports Medicine.*

Loenneke, J., Abe, T., Wilson, J., Thiebaud, R., Fahs, C., Rossow, L., & Bemben, M. (2012). Blood flow restriction: an evidence based progressive model. *Acta Physiologica Hungarica, 99*(3), 235-250.

Loenneke, J. P., Wilson, G. J., & Wilson, J. M. (2010). A mechanistic approach to blood flow occlusion. *International Journal of Sports Medicine, 31*(01), 1-4.

Mendonca, G. V., Vaz, J. R., Teixeira, M. S., Grácio, T., & Pezarat-Correia, P. (2014). Metabolic cost of locomotion during treadmill walking with blood flow restriction. *Clinical Physiology and Functional Imaging, 34*(4), 308-316.

Mouser, J. G., Laurentino, G. C., Dankel, S. J., Buckner, S. L., Jessee, M. B., Counts, B. R., & Loenneke, J. P. (2017). Blood flow in humans following low-load exercise with and without blood flow restriction. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 42*(11), 1165-1171.

Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Madarame, H., Yasuda, T., & Morita, T. (2010). Effects of low-Intensity KAATSU resistance training on skeletal muscle size and muscle strength/endurance capacity in patients with ischemic heart diseases. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 42*(5), 743.

Neto, G. R., Santos, H. H., Sousa, J. B., Júnior, A. T., Araújo, J. P., Aniceto, R. R., & Sousa, M. S. (2014). Effects of high-intensity blood flow restriction exercise on muscle fatigue. J*ournal of Human Kinetics, 41*(1), 163-172.

Ogawa, H., Nakajima, T., Shibasaki, I., Nasuno, T., Kaneda, H., Katayanagi, S., & Fukuda, H. (2021). 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. *Journal of Clinical Medicine, 10*(3), 547.

Ozaki, H., Brechue, W. F., Sakamaki, M., Yasuda, T., Nishikawa, M., Aoki, N., & Abe, T. (2010). Metabolic and cardiovascular responses to upright cycle exercise with leg blood flow reduction. *Journal of Sports Science & Medicine, 9*(2), 224.

Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., & Neto, G. R. (2019). Blood flow restriction exercise: considerations of methodology, application, and safety. *Frontiers in Physiology, 10,* 533.

Perrine, K. (1994). Future directions for functional mapping. *Epilepsia, 35*, S90-S102.

Samaranada, V. A., Perera, S. A., Nayanathara, S. M., Kanchana, K. T. G., & Gayan, D. V. C. (2021). How effective the integration of "KAATSU" into different applications in sports medicine? A Review. *International Journal of Herbal Medicine, 9*(4), 43-51.

Sato, Y. (2005). The history and future of KAATSU training. *International Journal of KAATSU Training Research, 1*(1), 1-5.

Silva, J. C., Domingos-Gomes, J. R., Freitas, E. D., Neto, G. R., Aniceto, R. R., Bemben, M. G., & Cirilo-Sousa, M. S. (2021). Physiological and perceptual responses to aerobic exercise with and without blood flow restriction. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 35*(9), 2479-2485.

Slysz, J., Stultz, J., & Burr, J. F. (2016). The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport, 19*(8), 669-675.

Ursprung, W. M. (2016). The Effects of Blood Flow Restriction Training on VO2max and 1.5 Mile Run Performance. *San Antonio, Texas: Texas A&M University-San Antonio, 29*-41.

Yasuda, T., Abe, T., Kurano, M., Takano, H., Meguro, K., Brechue, W. F., & Nakajima, T. (2008). Venous blood changes with low-Intensity muscle contractions and blood flow restriction. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 40*(5), S350.

Yasuda, T., Abe, T., Sato, Y., Midorikawa, T., CF, K., Inoue, K., & Ishii, N. (2005). Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research, 1*(2), 65-70.

논문투고일 : 21.10.29 논문심사일 : 21.11.15 심사완료일 : 21.12.02